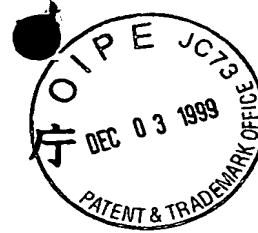


日本国特許  
PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT



SAH  
#6  
2-700

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日  
Date of Application:

1999年 8月 6日

出願番号  
Application Number:

平成11年特許願第224080号

出願人  
Applicant(s):

株式会社日立製作所

U.S. Serial no. 09/373,723

Filed 8/13/99

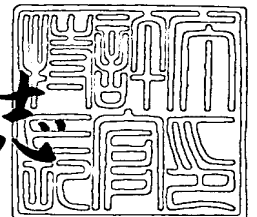
Beall Law Offices

Docket NIP-154

1999年 8月12日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

伴佐山 建志



出証番号 出証特平11-3056935

【書類名】 特許願

【整理番号】 J4313

【提出日】 平成11年 8月 6日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 21/3065

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地  
                                 株式会社 日立製作所 中央研究所内

    【氏名】 伊澤 勝

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地  
                                 株式会社 日立製作所 中央研究所内

    【氏名】 田地 新一

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地  
                                 株式会社 日立製作所 中央研究所内

    【氏名】 横川 賢悦

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地  
                                 株式会社 日立製作所 中央研究所内

    【氏名】 根岸 伸幸

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地  
                                 株式会社 日立製作所 中央研究所内

    【氏名】 小藤 直行

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地  
                                 株式会社 日立製作所 中央研究所内

    【氏名】 板橋 直志

【発明者】

【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地  
株式会社 日立製作所 中央研究所内

【氏名】 山本 清二

【発明者】

【住所又は居所】 山口県下松市大字東豊井 7 9 4 番地  
株式会社 日立製作所 笠戸事業所内

【氏名】 高橋 主人

【特許出願人】

【識別番号】 000005108

【氏名又は名称】 株式会社 日立製作所

【代理人】

【識別番号】 100074631

【弁理士】

【氏名又は名称】 高田 幸彦

【電話番号】 0294-24-4406

【選任した代理人】

【識別番号】 100083389

【弁理士】

【氏名又は名称】 竹ノ内 勝

【電話番号】 0294-24-4406

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 033123

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 ドライエッチング方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

真空下で、エッチング処理室に電磁波および磁場を発生させて電子サイクロトロン共鳴によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、エッチング処理室に配設され、電磁波を放射するアンテナと前記ウエハとの間隔を 30 mm から 100 mm に設定し、電磁波の周波数を 300 MHz から 600 MHz に設定して磁場勾配を決めて、前記アンテナとウエハとの間に 2 種類の電子温度領域を生成せしめ、前記エッチング処理室のガス圧力が 0.1 Pa から 4 Pa の条件下で、エッチング処理を行うことを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項 2】

真空下で、エッチング処理室に少なくとも炭素とフッ素からなるガスを導入し、かつ電磁波および磁場を発生させて電子サイクロトロン共鳴によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、エッチング処理室に配設され、電磁波を放射するアンテナと前記ウエハとの間隔を 30 mm から 100 mm に設定し、電磁波の周波数を 300 MHz から 600 MHz に設定して磁場勾配および前記電磁波を発生させる高周波電源の電力を決めて、プラズマ中の  $CF_2$  に対する F（フッ素ラジカル）およびイオンについてそれぞれの量を独立に生成せしめ、前記エッチング処理室のガス圧力が 0.1 Pa から 4 Pa の条件下で、エッチング処理を行うことを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項 3】

真空下で、エッチング処理室に少なくとも炭素とフッ素からなるガスを導入し、かつ電磁波および磁場を発生させて電子サイクロトロン共鳴によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、前記電磁波の周波数を 300 MHz から 600 MHz に設定し、かつ磁場勾配を決めるとともに、エッチング処理室に配設され電磁波を放射するアンテナ

と前記ウエハとの間隔を 30 mm から 100 mm の間で設定し、前記アンテナとウエハとの間に 2 種類の電子温度領域を生成せしめ、プラズマ中の  $\text{CF}_2$  に対する F (フッ素ラジカル) およびイオンについてそれぞれの量を独立に生成せしめ、前記エッチング処理室のガス圧力が 0.1 Pa から 4 Pa の条件下で、エッチング処理を行うことを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項 4】

真空下で、エッチング処理室に電磁波および磁場を発生させて電子サイクロトロン共鳴 (ECR) によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、エッチング処理室に配設され電磁波を放射するアンテナと前記ウエハとの間隔を 30 mm から 100 mm に設定し、前記電磁波の周波数を 300 MHz から 600 MHz に設定して、ECR の位置および磁場勾配を決めて、前記アンテナとウエハとの間に 2 種類の電子温度領域を生成せしめ、前記エッチング処理室のガス圧力が 0.1 Pa から 4 Pa の条件下で、エッチング処理を行うことを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項 5】

真空下で、エッチング処理室に少なくとも炭素とフッ素からなるガスを導入し、かつ電磁波および磁場を発生させて電子サイクロトロン共鳴 (ECR) によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、エッチング処理室に配設され電磁波を放射するアンテナと前記ウエハとの間隔を 30 mm から 100 mm に設定し、前記電磁波の周波数を 300 MHz から 600 MHz に設定して、ECR の位置および磁場勾配を決めて、前記アンテナとウエハとの間に 2 種類の電子温度領域を生成せしめてプラズマ中の  $\text{CF}_2$  に対する F (フッ素ラジカル) およびイオンについてそれぞれの量を独立に生成せしめ、前記エッチング処理室のガス圧力が 0.1 Pa から 4 Pa の条件下で、エッチング処理を行うことを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項 6】

真空下で、エッチング処理室に少なくとも炭素とフッ素からなるガスを導入し、かつ電磁波および磁場を発生させて電子サイクロトロン共鳴によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法にお

いて、エッチング処理室に配設され電磁波を放射するアンテナと前記ウエハとの間隔を30mmから100mmに設定し、前記電磁波の周波数を300MHzから600MHzに設定して、磁場勾配および前記炭素およびフッ素からなるガスの流量を決めて、前記アンテナとウエハとの間に2種類の電子温度領域を生成せしめてプラズマ中の $CF_2$ に対するF（フッ素ラジカル）およびイオンについてそれぞれの量を独立に生成せしめ、前記エッチング処理室のガス圧力が0.1Paから4Paの条件下で、エッチング処理を行うことを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項7】

真空下で、エッチング処理室に少なくとも炭素とフッ素からなるガスを導入し、かつ電磁波および磁場を発生させてエレクトロンサイクロトロン共鳴によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、エッチング処理室に配設され、電磁波を放射するアンテナと前記ウエハとの間隔を30mmから100mmに設定し、電磁波の周波数を300MHzから600MHzに設定して磁場勾配を決めて、前記アンテナとウエハとの間に2種類の電子温度領域を生成せしめ、絶縁膜のエッチングプロセスに対応して、プラズマ中の $CF_2$ に対するF（フッ素ラジカル）およびイオンについてそれぞれの生成量を独立に生成せしめ、前記エッチング処理室のガス圧力が0.1Paから4Paの条件下で、エッチング処理を行うことを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項8】

真空下で、エッチング処理室に少なくとも炭素とフッ素からなるガスを導入し、かつ電磁波および磁場を発生させてエレクトロンサイクロトロン共鳴によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、エッチング処理室に配設され、電磁波を放射するアンテナと前記ウエハとの間隔を30mmから100mmに設定し、電磁波の周波数を300MHzから600MHzに設定して磁場勾配を制御して、前記アンテナとウエハとの間に生成せしめる2種類の電子温度領域を可変させて $CF_2/F$ の生成比率を制御し、エッチング処理を行うことを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項 9】

真空下で、エッチング処理室に電磁波および磁場を発生させてエレクトロンサイクロトロン共鳴によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、エッチング処理室に配設され、電磁波を放射するアンテナと前記ウエハとの間隔を 3 0 m m から 1 0 0 m m に設定し、電磁波の周波数を 3 0 0 M H z から 6 0 0 M H z に設定して磁場勾配を制御して、前記アンテナとウエハとの間に 2 種類の電子温度領域を生成せしめ、ウエハのコンタクトホールに対するエッチングに対応して、エッチング時間の経過とともにウエハ付近での電子温度を低下させ、エッチング処理を行うことを特徴とするエッチング方法。

【請求項 1 0】

真空下で、エッチング処理室に電磁波および磁場を発生させてエレクトロンサイクロトロン共鳴によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、エッチング処理室に配設されるウエハ対向面と前記ウエハとの間隔を 3 0 m m から 1 0 0 m m に設定し、電磁波の周波数を 3 0 0 M H z から 6 0 0 M H z に設定して磁場勾配を決めて、前記ウエハ対向面とウエハとの間に 2 種類の電子温度領域を生成せしめ、前記エッチング処理室のガス圧力が 0 . 1 P a から 4 P a の条件下で、エッチング処理を行うことを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項 1 1】

真空下で、エッチング処理室に電磁波および磁場を発生させてエレクトロンサイクロトロン共鳴によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、エッチング処理室に配設されるウエハ対向面と前記ウエハとの間隔を 3 0 m m から 1 0 0 m m に設定し、電磁波の周波数を 3 0 0 M H z から 6 0 0 M H z に設定して磁場勾配および前記電磁波を発生させる高周波電源の電力を決めて、プラズマ中のエッチングに寄与するラジカルおよびイオンについてそれぞれの量を独立に生成せしめ、前記エッチング処理室のガス圧力が 0 . 1 P a から 4 P a の条件下で、エッチング処理を行うことを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項 12】

真空下で、エッチング処理室に電磁波および磁場を発生させて電子サイクロトロン共鳴によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、エッチング処理室に配設されるウエハ対向面と前記ウエハとの間隔を 30 mm から 100 mm に設定し、電磁波の周波数を 300 MHz から 600 MHz に設定して磁場勾配を決めて、前記ウエハ対向面とウエハとの間に 2 種類の電子温度領域を生成せしめてプラズマ中のエッチングに寄与するラジカルおよびイオンについてそれぞれの量を独立に生成せしめ、前記エッチング処理室のガス圧力が 0.1 Pa から 4 Pa の条件下で、エッチング処理を行うことを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項 13】

真空下で、エッチング処理室に電磁波および磁場を発生させて電子サイクロトロン共鳴（ECR）によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、エッチング処理室に配設されるウエハ対向面と前記ウエハとの間隔を 30 mm から 100 mm に設定し、前記電磁波の周波数を 300 MHz から 600 MHz に設定して、ECR の位置および磁場勾配を決めて、前記エッチング処理室のガス圧力が 0.1 Pa から 4 Pa の条件下で、前記ウエハ対向面とウエハとの間に 2 種類の電子温度領域を生成せしめることを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項 14】

真空下で、エッチング処理室に少なくとも炭素とフッ素からなるガスを導入し、かつ電磁波および磁場を発生させて電子サイクロトロン共鳴（ECR）によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、エッチング処理室に配設されされるウエハ対向面と前記ウエハとの間隔を 30 mm から 100 mm に設定し、前記電磁波の周波数を 300 MHz から 600 MHz に設定して、ECR の位置および磁場勾配を決めて、前記ウエハ対向面とウエハとの間に 2 種類の電子温度領域を生成せしめてプラズマ中の  $\text{CF}_2$  に対する F（フッ素ラジカル）およびイオンについてそれぞれの量を独立に生成せしめ、前記エッチング処理室のガス圧力が 0.1 Pa から 4 Pa の条件



下で、エッチング処理を行うことを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項 15】

真空下で、エッチング処理室に少なくとも炭素とフッ素からなるガスを導入し、かつ電磁波および磁場を発生させてエレクトロンサイクロトロン共鳴（ECR）によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、エッチング処理室に配設されるウエハ対向面と前記ウエハとの間隔を 30 mm から 100 mm に設定し、前記電磁波の周波数を 300 MHz から 600 MHz に設定して、磁場勾配および前記炭素およびフッ素からなるガス流量を決めて、前記ウエハ対向面とウエハとの間に 2 種類の電子温度領域を生成せしめてプラズマ中の  $CF_2$  に対する F（フッ素ラジカル）およびイオンについてそれぞれの量を独立に生成せしめ、前記エッチング処理室のガス圧力が 0.1 Pa から 4 Pa の条件下で、エッチング処理を行うことを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項 16】

真空下で、エッチング処理室に少なくとも炭素およびフッ素を含むガスを導入し、電磁波によりプラズマを発生させてウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、エッチング処理室に配設されるウエハ対向面と前記ウエハとの間隔を 30 mm から 100 mm に設定し、電磁波の周波数を 300 MHz から 600 MHz に設定して磁場勾配を決めて、前記ウエハ対向面とウエハとの間に 2 種類の電子温度領域を生成せしめ、酸化膜のエッチングプロセスに対応して、プラズマ中の  $CF_2$  に対する F（フッ素ラジカル）およびイオンについてそれぞれの生成量を独立に生成せしめ、前記エッチング処理室のガス圧力が 0.1 Pa から 4 Pa の条件下で、エッチング処理を行うことを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項 17】

真空下で、エッチング処理室に電磁波および磁場を発生させてエレクトロンサイクロトロン共鳴によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、エッチング処理室に配設するウエハ対向面と前記ウエハとの間隔を 30 mm から 100 mm に設定し、電磁波の周波数を 300

MHz から 600MHz に設定して磁場勾配を制御し、磁場勾配制御により前記ウエハ対向面とウエハとの間に生成せしめる 2 種類の電子温度領域を可変させて  $CF_2/F$  の生成比率を制御してエッチング処理を行うことを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項 18】

真空下で、エッチング処理室に少なくとも炭素とフッ素からなるガスを導入し、電磁波によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、エッチング処理室に配設されるウエハ対向面と前記ウエハとの間隔を 30mm から 100mm に設定し、第 1 の電磁波を放射する高周波電源の周波数と第 2 の電磁波を放射する高周波電源の周波数をそれぞれ 300MHz から 600MHz に設定し、ウエハを処理する処理台に前記第 1 および第 2 の電磁波の周波数より低い周波数の高周波バイアスを印加し、前記ウエハ対向面とウエハとの間に 2 種類の電子温度領域を生成せしめて、 $CF_2$  に対する F（フッ素ラジカル）およびイオンについてそれぞれの量を独立に生成せしめ、前記エッチング処理室のガス圧力が 0.1Pa から 4Pa の条件下で、エッチング処理を行うことを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項 19】

真空下で、エッチング処理室に少なくとも Cl あるいは Br を含むガスを導入し、かつ電磁波および磁場を発生させてエレクトロンサイクロトロン共鳴によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、エッチング処理室に配設されるウエハ対向面と前記ウエハとの間隔を 30mm から 100mm に設定し、電磁波の周波数を 300MHz から 600MHz に設定して磁場勾配を決めて、前記ウエハ対向面とウエハとの間に 2 種類の電子温度領域を生成せしめ、多結晶 Si を含むゲート電極もしくは Al を含むメタル配線のエッチングプロセスに対して、プラズマ中の Cl ラジカルもしくは Br ラジカル生成量とイオンの生成量を独立に生成せしめ、エッチング処理を行うことを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項 20】

エッチング処理室に高周波によるプラズマを生成してウエハについてエッチン

グするドライエッチング方法において、前記エッチング処理室に配設されたウエハ対向面とウエハの距離を 30 mm から 100 mm に設定し、前記高周波の周波数を 10 MHz から 100 MHz とし、前記高周波に依存した電子温度領域を生成せしめ、前記エッチング処理室のガス圧力が 0.1 Pa から 4 Pa の条件下で、窒化ケイ素膜に対し選択的に酸化膜をエッチングする SAC 加工を行うことを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項 21】

請求項 1 から請求項 15 および請求項 17、請求項 19 において、エレクトロンサイクロトロン共鳴 (ECR) の領域の磁場勾配は、磁場勾配／磁場強度の値が 0.15 / cm から 0.01 / cm の範囲で設定することを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項 22】

請求項 1 から請求項 21 のいずれかにおいて、ウエハの処理台には 400 KHz から 13.56 MHz の高周波バイアスを印加することを特徴とするドライエッチング方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体装置の微細加工に用いるドライエッチング装置及びドライエッチング方法に関し、特に酸化ケイ素膜の高精度ドライエッチング加工を実現するドライエッチング装置及びドライエッチング方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

半導体装置において、ウエハ上に形成されたトランジスタ構造とそれに接続すべきメタル配線間、およびメタル配線間を電氣的に接続するために、トランジスタ構造上および配線間に形成された絶縁膜 (SiO<sub>2</sub> を主成分とする薄膜、または有機膜などで誘電率が低い材料 (Low-K 膜) などを指し、以後、酸化膜と呼ぶ) に、ドライエッチング方法でコンタクトホールを形成し、コンタクトホール内に電気伝導体を充填する。ドライエッチングでは、エッチングガスを真空容

器に導入し、このガスに高周波もしくはマイクロ波を印加してプラズマを発生させ、プラズマ中で生成した活性種およびイオンによって酸化膜を選択的にエッチングし、コンタクトホールを形成する。このエッチングに際して、ホールパターンを転写したレジスト薄膜が酸化膜上に形成されている。このコンタクトホール加工では、レジスト膜、コンタクトホールの下部にある配線層、およびトランジスタを形成しているシリコンに対し選択的に酸化膜をエッチングする必要がある。この他、ウエハ上に形成された電界効果トランジスタのゲート電極を、配線層間と異なった材質の第2の絶縁膜で覆い、ソースおよびドレイン領域と配線層を接続するドライエッチング方法においては、エッチング中、ホール内に前記第2の絶縁膜が現れるため、第2の絶縁膜に対する選択性も必要となる。このコンタクト加工のことをセルフアラインコンタクト（SAC）加工といい、第2の絶縁膜として、窒化ケイ素膜が用いられる。

## 【0003】

上記コンタクトホールの加工は、エッチング装置内に $\text{CF}_4$ 、 $\text{CHF}_3$ 、 $\text{C}_4\text{F}_8$ 、 $\text{C}_4\text{F}_6$ 、 $\text{C}_5\text{F}_8$ 等のフロロカーボンガスおよびArガスを導入し、4Paから10Paのガス圧力条件で高周波プラズマ放電して、ウエハに1.5から2.0kVのバイアス電圧（Vpp電圧）が印加される条件でエッチングを行っている。配線層間の酸化膜が厚く、コンタクトホールのアスペクト比（深さ／直径）が高い場合には、ホール開口性を高めるため酸素ガスの添加、レジストおよび窒化膜に対する選択性を高めるためCOガスの添加等が行われてきた。

## 【0004】

その他、酸化膜エッチング以外の例では、たとえばゲート電極の加工においては、エッチングガスとして塩素ガス、臭化水素ガスおよび酸素ガスの混合ガスが用いられてきた。また、酸素の添加により、異方加工を制御してきた。しかしながら、ゲート電極の材料にp型とn型の多結晶Siが含まれる場合、n型多結晶Si側面がClラジカルやBrラジカルでエッチングされ、p型多結晶Siと同等の加工形状を得ることが難しい。

## 【0005】

配線材料であるTiNおよびAl-Cu合金加工では、エッチングガスとして

塩素ガスと塩化ホウ素ガスの混合ガスが用いられ、異方加工の制御するため、炭化水素ガスおよび水素が一部フッ素に置換された炭化水素ガスもしくは窒素ガスを添加している。これらの添加ガスは反応性の高いC1ラジカルに対し、保護膜を形成するが、孤立したパターンの形状を太らせるという弊害がある。

## 【0006】

## 【発明が解決しようとする課題】

酸化膜のエッチングにおいて、エッチング特性を決定するのはプラズマ中での $CF_2$ 、F、イオンである（CF系ガスのプラズマ中では、 $CF_2$ の他、CF、 $CF_3$ 、 $C_2$ 等が存在するが、本明細書では、C、CF、 $CF_2$ 等をCFラジカルで代表し、 $CF_2$ ラジカルを $CF_2$ で、FラジカルをFで表記する。）。より正確には、エッチング特性はプラズマ中での $CF_2$ に対するFおよびイオンの生成量に依存しているが、その理由は以下のとおりである。

## 【0007】

エッチング処理室に導入したフロロカーボンガスが、プラズマ中で $CF_2$ ラジカルとFラジカルおよびイオンに解離しウエハに入射する。酸化膜のエッチングは、 $CF_2$ およびFが付着した面にイオンが入射することにより、エッチングが進行する。これに対し、レジストや窒化ケイ素膜は、主にFとイオンによってエッチングされ、 $CF_2$ は表面でポリマーを形成するため、レジストや窒化ケイ素膜上では耐エッチング膜として作用する。このため、 $CF_2$ に比べイオンやFの入射量が少ない条件でエッチングすると、レジストや窒化ケイ素膜に対して高い選択比を得ることができる。しかしながら、イオン入射量を少なくすると、酸化膜のエッチング速度が遅くなり、Fの入射量が少なくなると、アスペクト比の高いホールではエッチングが停止してしまうという問題が発生する。このように、酸化膜のエッチングプロセスは、おおむね $CF_2$ 、F、イオンの入射によって決まり、特に $CF_2$ 入射量に対するイオンの入射量およびF入射量に依存する。したがって、プラズマ中での $CF_2$ に対するFおよびイオンの生成量を独立に制御できると、プロセス条件が広がり、結果としてより微細で深い酸化膜の加工が可能になる。細かくは、イオンの種類もエッチング速度、選択比に影響あるが、基本的には、 $CF_2$ に対するFおよびイオンの量で決まる。なお、Ar希釈ガスを

用いる場合、分圧の大部分が  $\text{Ar}$  となるため、ほとんどのイオンは  $\text{Ar}$  イオンである。 $\text{Ar}$  希釈しない場合は、 $\text{CF}$  イオン、 $\text{C}$  イオンが入射するが、ラジカルの総量に比べ、 $1/100$  から  $1/10$  程度のイオン量である。イオン種によって選択性やエッチング速度への影響があり、 $\text{CF}_2$  に対する  $\text{F}$  の生成量の最適値が 1 割程度ずれる場合がある。

## 【0008】

以上のようなメカニズムによりエッチングが支配されているため、アスペクト比の高いコンタクトホールを加工する場合、 $\text{F}$  が少なく高いレジスト選択比が得られるエッチング条件では、コンタクトホール底面で  $\text{F}$  が少なくなるため、 $\text{CF}$  ラジカルによりホール底面にポリマーが形成され、エッチングが途中で停止してしまう。逆に、 $\text{F}$  や酸素ラジカルが多くエッチングが停止しない条件の場合は、 $\text{F}$  や酸素がホール底面まで十分供給されてエッチングが進行する。しかし、過剰な酸素や  $\text{F}$  によりレジストマスクがエッチングされるため、レジストに対する選択比が十分に得られなくなってしまう。このようなコンタクトホールのエッチングでは、 $\text{CF}_2$  入射量に対するイオンの入射量および  $\text{F}$  入射量を最適化する必要がある。

## 【0009】

しかしながら、従来のエッチング装置では、ガス圧力、プラズマ発生に必要な高周波パワー等のエッチング条件を決めると、プラズマ密度および電子温度が決まってしまうため、 $\text{CF}$  系のエッチングガスではガス解離による  $\text{F}$  と  $\text{CF}_2$  およびイオンの生成量が固定されてしまう。このため  $\text{F}$  と  $\text{CF}_2$  の生成量を一定にしたまま、イオン生成量を変えたり、イオン生成量一定の条件で、 $\text{F}$  と  $\text{CF}_2$  の入射量を変えることが難しかった。例えば、平行平板型のエッチング装置の場合、プラズマ生成用の高周波バイアスのパワーを高くするとプラズマ密度が高くなるためイオン生成量が増加し、同時に、プラズマによる解離が進むため  $\text{CF}_2$  に対する  $\text{F}$  の生成量も変わってしまう。

## 【0010】

したがって、従来の技術では、プラズマ中のガス解離が固定され、ラジカルの種類や比率、発生量などを自由に調節することが困難なため、この問題に対応で

きなかった。

【0011】

この他、従来の技術のようにガス圧力が高い条件でアスペクト比の高いコンタクトホールをエッチングする場合、本来ウエハに対し垂直に入射しなければならないイオンが圧力が高いためにガス分子と衝突し、ウエハに対し傾め方向から入射するイオンが多くなるため、酸化膜の一部が横方向にエッチングされてしまい垂直加工することが難しくなる。ガス分子との衝突は、ガス圧力を低くすることにより、低減できるが、従来の装置では、ガス圧力を低くするとプラズマ密度と電子温度が変わってしまうため、Fの比率が増えレジストや窒化膜に対する十分な選択比が得られず、低ガス圧力化の障害となっていた。

【0012】

上記酸化膜のエッチングにおいては、半導体装置の微細化に伴い、加工精度、窒化膜に対する選択比（対窒化膜選択比）およびレジストに対する選択比等の向上、および、半導体装置の平坦化や配線の多層化に伴い、深さ／ホール径比率（アスペクト比）の高いコンタクトホールの加工が必要となってきた。

【0013】

本発明が解決しようとする課題は、プラズマ中での $CF_2$ に対するFおよびイオンの生成量を制御し、アスペクト比の高いコンタクトホールや窒化ケイ素膜に対して高い選択比が要求される酸化膜の加工を実現することである。

【0014】

この他、ゲート電極およびメタル配線加工においては、ClラジカルおよびBrラジカルのパターン側面への入射によるサイドエッチングが課題となる。本発明が解決しようとする課題には、ゲート電極やメタル配線加工において、異方加工性を向上することが含まれる。

【0015】

さらに、酸化膜やゲート電極、メタル配線加工に使用される半導体ウエハに限定されずに、液晶基板やDVD基板、硝子基板なども含む種々の基板（被加工処理物）に対し、加工に最適なエッチング活性種やイオンの量、比率を容易に設定、あるいは制御し、異方性加工を実現することにある。

【0 0 1 6】

## 【課題を解決するための手段】

本発明の課題を解決するには、プラズマ中のラジカル生成量やイオン量を独立に制御し調節できることが必要である。その手段として、本発明では、プラズマ中の電子温度領域の制御を行う。電子温度の異なる 2 以上のプラズマ領域を形成することによって、プラズマ中での  $\text{CF}_2$  に対する F およびイオンの生成量を独立に制御することができる。フロロカーボンガスを用いた酸化膜エッチングにおいて、 $\text{CF}_2$  に対する F の生成量は、プラズマ温度に依存し、イオンの生成量はプラズマ生成に導入したパワーに比例して決まる。 $\text{C}_4\text{F}_8$  の場合、 $\text{CF}_8$  から F の生成の閾エネルギー 6 e V 程度であるのに対し、 $\text{CF}_2$  の生成は 12 e V 程度である。このため、電子温度が低い場合 (1 - 4 e V)、F が生成しやすく  $\text{CF}_2/\text{F}$  生成比は小さくなる。電子温度が 5 - 20 e V では、 $\text{CF}_2$  の生成が促進されるため、 $\text{CF}_2/\text{F}$  生成比は低電子温度の場合に比べ大きくなる。そこで、2 種類の電子温度を用いると、高電子温度領域で F と  $\text{CF}_2$  を生成させ、低電子温度領域では主に F を生成させることが可能になる。したがって、電子温度の値を適切な値に設定することで F と  $\text{CF}_2$  の生成量を制御あるいは調節することができる。また、高および低電子温度が設定された状態において、この 2 つの電子温度領域の大きさを変えることにより、 $\text{CF}_2/\text{F}$  比を制御することができる。これらの電子温度の差は 1 e V 以上、好ましくは 5 e V 以上あると良い。2 つの電子温度領域は、空間的につながっている。以下のべる高電子温度領域とは、電子温度の最大値をピークとしたその周辺部、被処理物上もしくは被処理物中心部と被処理物対向面の間における電子温度が最大値となる部分の周辺部とする。被処理物と被処理物対向面の間で、電子温度が、最高電子温度と最低電子温度の平均値になる位置を高電子温度領域と低電子温度領域の境界とする。高電子温度領域の両側に低電子温度領域がある場合は、上記の境界の他に第 2 番目の低電子温度領域と高電子温度領域の境界を上記と同様に定義する。ここで第 2 番目の低電子温度領域内の最低電子温度は、第 1 番目の低電子温度領域の最低電子温度と同じか、若干高くなる。



## 【 0 0 1 7 】

なお、本発明のように2つの電子温度領域を形成した場合、2つの電子温度領域でともに、Fが生成することから、全体にFが過剰な条件で $CF_2/F$ を制御することになる。Fを選択的に除外するには、水素原子を含むガス( $H_2$ ,  $CH_2F_2$ ,  $CH_4$ 等)を添加しFをHラジカルと反応させ除外することができる。この他、内壁材との反応でFを消費させることができる。具体的には、エッチング装置内壁面にSi板、SiC板等のFと反応する材料を設置し、F消費を促進するため前記板に高周波バイアスを印加することによりFを除外する。この他、 $CF_2$ が壁に付着して形成されたポリマーとFを反応させてFを除外することができる。ウエハと内壁部の距離を近づけると、プラズマの体積に対する内壁面の面積が大きくなるため、エッチング装置内のプラズマで生成したFが内壁部に入射する割合が高くなる。すなわち、ウエハと内壁部を接近させることによりFは効率的にポリマーと反応し除外される。具体的には、ウエハとエッチング装置のウエハ対向面との距離を短くすることが上げられる。これらの方法と2種類の電子温度をもつプラズマを用いることにより、 $CF_2/F$ 比を広い範囲で制御することが可能になる。

## 【 0 0 1 8 】

これに対し、イオンの生成量は、プラズマ中の電子密度によって決まり、電子密度は入力する高周波のパワーにほぼ比例する。個々のラジカル( $CF_2$ 、F)は高周波パワーの増加とともに増加するが、 $CF_2/F$ 生成比はほとんど高周波パワーに依らない。したがって、2つの電子温度領域を可変させることにより、イオン生成量をほぼ一定にして、独立に $CF_2/F$ の生成比率を制御することができる。さらに、 $CF_2$ の生成量は、フロロカーボンガスのガス流量もしくは分圧にも依存し、フロロカーボンの $CF_2$ への解離が飽和する条件では、高周波のパワーで被処理物への $CF_2$ /イオン入射比が制御できる。

## 【 0 0 1 9 】

2種類の電子温度領域を生成する具体的な方法として、図1に示すようにエレクトロンサイクロトロン共鳴(ECR)を用いたエッチング装置の場合、ECR領域で電子温度が高く(高電子温度領域101)、それ以外の部分では、低電子温

度領域 102 を形成する。実効的な ECR 領域は、ECR 条件と一致する磁場強度からある幅を持った磁場強度の領域となっている。すなわち、電子温度が高い ECR 領域の広さは磁場勾配を変えることで変化させることができる。その様子を図 2 に示した。なお、電磁波の周波数で ECR 条件を満たす磁場強度が異なってくるので、図 2 の横軸は ECR 条件を満たす磁場強度と磁場勾配の比で規格化した。図 2 に示すように高電子温度領域 201 は、外部から印加する磁場の磁場勾配を大きくすると高電子温度領域は狭くなり、磁場勾配を小さくすると高電子温度領域は広くなる。したがって、ECR 領域の磁場勾配の制御により、 $CF_2/F$  生成比を可変することが可能になる。図 3 の曲線 302、303、304 に示すように、磁場勾配が小さい条件では、高電子温度領域が広がるので、 $CF_2/F$  生成比は大きくなり、磁場勾配を大きくすると、高電子温度領域が狭くなるので、 $CF_2/F$  生成比を小さくすることができる。なお、図 3 の曲線 301 から曲線 305 は、後述するがアンテナとウエハ間のギャップを変えた場合の例である。磁場勾配／磁場強度が  $0.08/cm$  以上では、低電子温度領域が支配的になるため  $CF_2/F$  生成比の変化が小さくなる。特に、 $0.15/cm$  以上では、 $CF_2/F$  生成比がほとんど変わらず、磁場勾配による  $CF_2/F$  生成比の制御が難しくなる。

#### 【0020】

この他、磁場勾配が一定ならば ECR 領域は導入する電磁波の周波数におおむね反比例する。例えば、周波数を  $2.45GHz$  から  $450MHz$  にすると ECR 領域は約 3 倍に広がる。したがって、導入する電磁波の周波数を低くすることによって高電子温度領域を広くし、 $CF_2/F$  生成比を大きくすることができる。

#### 【0021】

電磁波の周波数を定めて磁場勾配を固定（高電子温度領域を一定とする）した場合、被処理物 6 と被処理物に対向する面（アンテナ 23）との距離を変えると低電子温度領域 102 の大きさを変えることができる。ここで、被処理物と対向面の距離をギャップと呼ぶことにする。図 1 では、対向面はアンテナ 23 となるが、一般には、被処理物 6 の対向面はプラズマ処理室 35 の一部が該当し、被処

理物 6 とはプラズマを介して対向したプラズマに接する面である。磁場勾配／磁場強度を  $0.03/\text{cm}$  に固定し、ギャップを広げていくと、図 4 に示すように低電子温度領域が広がるため、F の生成量（曲線 402）が増加する。これに対し、 $\text{CF}_2$  の生成量（曲線 401）は、ギャップを広げると増加するが、100 mm を越えると逆に減少する。この減少は、ECR 領域で生成した  $\text{CF}_2$  が被処理物に到達するまでの距離が長くなったため、一度解離した  $\text{CF}_2$  が再結合により失われるためである。このように、ギャップを広げると、 $\text{CF}_2/\text{F}$  生成比は小さくなり、ギャップでも  $\text{CF}_2/\text{F}$  生成比が制御できる。

## 【0022】

磁場勾配とギャップを同時に制御すると、広い範囲で  $\text{CF}_2/\text{F}$  生成比が制御できることになる。図 3 にギャップ 20 mm、40 mm、70 mm、100 mm、120 mm における  $\text{CF}_2/\text{F}$  生成比の磁場勾配依存性を示す。図 3 の横軸は ECR 磁場強度で除した磁場勾配であり、記号 301 から 305 がそれぞれギャップ 20 mm から 120 mm に対応する。ギャップ 20 mm（曲線 301）の低磁場勾配側（ $0.05/\text{cm}$  以下）では、ギャップ内の空間が高電子温度領域のみとなるため  $\text{CF}_2/\text{F}$  生成比は一定になり、ギャップ 100 mm を越えると、曲線 305 に示すようにフロロカーボンガスが完全に解離してしまうため、 $\text{CF}_2/\text{F}$  生成比は、磁場勾配に依存しなくなる。また、ギャップ 20 mm では、プラズマ空間が狭いため被処理物の中心と周辺で圧力差が生ずる。すなわち、被処理物上の圧力がばらつくため、均一な加工が難しくなる。

## 【0023】

酸化マックエッチングにおいて、レジスト膜や窒化ケイ素膜に対し選択性を得るためには、 $\text{CF}_2/\text{F}$  生成比だけでなく、イオンパッタに対しエッチング保護膜となる  $\text{CF}_2$  とイオンパッタを引き起こすイオンの入射量を制御する必要がある。図 5 に、ギャップ 50 mm における被処理物に入射する  $\text{CF}_2$  とイオンの入射比の磁場勾配依存性を示す。磁場勾配を大きくすると、高電子温度領域が小さくなるため  $\text{CF}_2/\text{イオン入射比}$  はわずかに減少する。磁場勾配で  $\text{CF}_2/\text{イオン入射比}$  は 35 % 程度の範囲で制御できることを曲線 501 は示している。磁場勾配を大きくすると、 $\text{CF}_2$  の生成量は減少する。また、大きな磁場勾配の

場合は磁力線が発散的になるが、高電子領域で生成したイオンは磁力線に沿って移動するため、被処理物に入射せず周辺に逃げるイオンが多くなる。そのため、 $\text{CF}_2$ /イオン入射比に大きな差がみられないのである。

## 【0024】

$\text{CF}_2$ の生成量は、電子温度、電子密度だけでなく、フロロカーボンのガス流量にも依存する。図6に示すようにガス流量が $10\text{ ml/min}$  (曲線601)の場合、被処理物上の $\text{CF}_2$ /イオン入射比は8程度で飽和するが、 $20\text{ ml/min}$  (曲線602)、 $30\text{ ml/min}$  (曲線603)では、 $\text{CF}_2$ /イオン入射比の飽和値は16、23程度になる。なお、イオン電流密度はガス流量には依存しないので、 $\text{CF}_2$ の生成量をガス流量で制御し、イオン電流密度は高周波パワーで制御することができるので、 $\text{CF}_2$ /イオン入射比を、プロセスにあわせて設定することができる。

## 【0025】

たとえば、図6によると、高周波パワー $1000\text{ W}$ では、ガス流量を $10\sim 30\text{ ml/min}$ の範囲で変えることにより、 $\text{CF}_2$ /イオン入射比を8から20程度まで制御できることになる。したがって、磁場勾配とガス流量を組み合わせた制御により、広い範囲で $\text{CF}_2$ /イオン入射比が制御可能となる。

## 【0026】

プラズマ中の電子密度は、ほぼ高周波パワー（電磁波を発生する高周波電源の投入電力であるが、ここでは単に高周波パワーと呼ぶ）に比例し、被処理物上のイオン入射量（イオン電流密度）も高周波パワーに比例する。図7曲線701に示すように、イオン電流密度は、高周波パワーにほぼ比例して増加する。酸化膜のエッチング速度はイオン電流密度にほぼ比例するので、高速エッチングを行うには、 $5\text{ mA/cm}^2$ 以上のイオン電流が必要である。さらに、前述したように、イオン電流密度は、ギャップを広げると減少するので、ギャップを広げて同じイオン電流密度を得るためには、高周波パワーを大きくする必要がある。

## 【0027】

以上のようにECREッチング装置の場合、ECR位置、磁場勾配、導入する電磁波の周波数、被処理物と被処理物対向面の距離、ガス流量を制御することに

より、イオンの生成量と独立に  $CF_2/F$  の生成比を制御することができる。

【0028】

ゲート電極加工およびメタル配線加工では、2つの電子温度領域を制御することにより、ClラジカルやBrラジカルの発生を抑制することができる。Cl<sub>2</sub>からClへの解離には2.5 eV、HBrからBrへの解離には3.8 eVの解離エネルギーが必要である。したがって、解離エネルギーより低い電子温度の低電子温度領域ではラジカルの生成量が少なくなるとともにラジカルの再結合もあるため、ClラジカルおよびBrラジカルの生成量を少なくできる。ClおよびBrの生成量を少なくすることにより、ゲート電極やメタル配線側面のサイドエッチングを抑制することができる。イオンは主に高電子温度領域で生成されるためClおよびBrと独立に制御できる。

【0029】

以上、半導体装置上の被処理物をドライエッチングで加工する方法の中で、特に酸化膜エッチングについて説明したが、半導体装置の加工に限らず、液晶、TFT、DVDディスク、DVDヘッド、磁気ヘッド等のドライエッチング装置を用いた微細加工においても本発明のエッチング方法が使用できる。

【0030】

本発明は、具体的には次に掲げる方法を提供する。

【0031】

本発明は、真空下で、エッチング処理室に電磁波および磁場を発生させてエレクトロンサイクロトロン共鳴(ECR)によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、エッチング処理室に配設され、電磁波を放射するアンテナと前記ウエハとの間隔を30mmから100mmに設定し、電磁波の周波数を300MHzから600MHzに設定して磁場勾配を決めて、前記アンテナとウエハとの間に2種類の電子温度領域を生成せしめるドライエッチング方法を提供する。なお、ウエハ上の被エッチングパターンが微細化することに対応するには、ウエハへ入射するイオンの軌道をウエハに対し垂直にしなければならない。そのためには、ドライエッチングの圧力を、さらに低圧力化する必要がある。本発明のECRプラズマは、低圧力においても安定し

てプラズマを生成することが可能であり、本発明においては、さらに、前記エッチング処理室のガス圧を 0. 1 P a から 4 P a のガス圧力の条件下でエッチング処理を行うドライエッチング方法を提供する。

#### 【0032】

本発明は、真空下で、エッチング処理室に少なくとも炭素およびフッ素を含むガスを導入し、かつ電磁波および磁場を発生させてエレクトロンサイクロトロン共鳴によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、エッチング処理室に配設され、電磁波を放射するアンテナと前記ウエハとの間隔を 3 0 m m から 1 0 0 m m に設定し、電磁波の周波数を 3 0 0 M H z から 6 0 0 M H z に設定して磁場勾配および前記電磁波を発生させる高周波電源の電力を決めて、プラズマ中の  $C F_2$  に対する F (フッ素ラジカル) およびイオンについてそれぞれの量を独立に生成せしめエッチング処理を行うドライエッチング方法を提供する。

#### 【0033】

本発明は、真空下で、エッチング処理室に少なくとも炭素およびフッ素を含むガスを導入し、かつ電磁波および磁場を発生させてエレクトロンサイクロトロン共鳴によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、前記電磁波の周波数を 3 0 0 M H z から 6 0 0 M H z に設定し、かつ磁場勾配を決めるとともに、エッチング処理室に配設され電磁波を放射するアンテナと前記ウエハとの間隔を 3 0 m m から 1 0 0 m m の間で設定し、前記アンテナとウエハとの間に 2 種類の電子温度領域を生成せしめてプラズマ中の  $C F_2$  に対する F (フッ素ラジカル) およびイオンについてそれぞれの量を独立に生成せしめエッチング処理を行うドライエッチング方法を提供する。

#### 【0034】

本発明は、真空下で、エッチング処理室に電磁波および磁場を発生させてエレクトロンサイクロトロン共鳴によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、エッチング処理室に配設され電磁波を放射するアンテナと前記ウエハとの間隔を 3 0 m m から 1 0 0 m m に設定し、前記電磁波の周波数を 3 0 0 M H z から 6 0 0 M H z に設定して、E C R の位置

および磁場勾配を決めて、前記アンテナとウエハとの間に 2 種類の電子温度領域を生成せしめることを特徴とするドライエッチング方法を提供する。

## 【0035】

本発明は、真空下で、エッチング処理室に少なくとも炭素とフッ素からなるガスを導入し、かつ電磁波および磁場を発生させて電子サイクロトロン共鳴によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、エッチング処理室に配設され電磁波を放射するアンテナと前記ウエハとの間隔を 30 mm から 100 mm に設定し、前記電磁波の周波数を 300 MHz から 600 MHz に設定して、ECR の位置および磁場勾配を決めて、前記アンテナとウエハとの間に 2 種類の電子温度領域を生成せしめてプラズマ中の  $\text{CF}_2$  に対する F およびイオンについてそれぞれの量を独立に生成せしめてエッチング処理を行うことを特徴とするドライエッチング方法を提供する。

## 【0036】

本発明は、真空下で、エッチング処理室に少なくとも炭素とフッ素からなるガスを導入し、かつ電磁波および磁場を発生させて電子サイクロトロン共鳴によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、エッチング処理室に配設され電磁波を放射するアンテナと前記ウエハとの間隔を 30 mm から 100 mm に設定し、前記電磁波の周波数を 300 MHz から 600 MHz に設定して、磁場勾配および前記炭素およびフッ素からなるガス流量を決めて、前記アンテナとウエハとの間に 2 種類の電子温度領域を生成せしめてプラズマ中の  $\text{CF}_2$  に対する F およびイオンについてそれぞれの量を独立に生成せしめ、エッチング処理を行うことを特徴とするドライエッチング方法を提供する。

## 【0037】

本発明は、真空下で、エッチング処理室に少なくとも炭素およびフッ素を含むガスを導入し、かつ電磁波および磁場を発生させて電子サイクロトロン共鳴によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、エッチング処理室に配設され、電磁波を放射するアンテナと前記ウエハとの間隔を 30 mm から 100 mm に設定し、電磁波の周波数を 30

0MHzから600MHzに設定して磁場勾配を決めて、前記アンテナとウエハとの間に2種類の電子温度領域を生成せしめ、絶縁膜のエッチングプロセスに対応して、プラズマ中の $\text{CF}_2$ に対するFおよびイオンについてそれぞれの生成量を独立に生成せしめてエッチング処理を行うドライエッチング方法を提供する。

【0038】

本発明は、真空下で、エッチング処理室に少なくとも炭素およびフッ素を含むガスを導入し、かつ電磁波および磁場を発生させて電子サイクロトロン共鳴によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、エッチング処理室に配設され、電磁波を放射するアンテナと前記ウエハとの間隔を30mmから100mmに設定し、電磁波の周波数を300MHzから600MHzに設定して磁場勾配を制御して、前記アンテナとウエハとの間に生成せしめる2種類の電子温度領域を可変させてイオン生成量とは独立に $\text{CF}_2/\text{F}$ の生成比率を制御しエッチング処理を行うドライエッチング方法を提供する。

【0039】

本発明は、真空下で、エッチング処理室に電磁波および磁場を発生させて電子サイクロトロン共鳴によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、エッチング処理室に配設され、電磁波を放射するアンテナと前記ウエハとの間隔を30mmから100mmに設定し、電磁波の周波数を300MHzから600MHzに設定して磁場勾配を制御して、前記アンテナとウエハとの間に2種類の電子温度領域を生成せしめ、ウエハのコンタクトホールに対するエッチングに対応して、エッチング時間の経過とともにウエハ付近での電子温度を低下させエッチング処理を行うエッチング方法を提供する。

【0040】

本発明は、エッチング処理室に電磁波および磁場を発生させて電子サイクロトロン共鳴によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、エッチング処理室に配設されるウエハ対向面と前記ウエハとの間隔を30mmから100mmに設定し、電磁波の周波数を30



0MHz から 600MHz に設定して磁場勾配を決めて、前記ウエハ対向面とウエハとの間に 2 種類の電子温度領域を生成せしめエッチング処理を行うドライエッチング方法を提供する。

【0041】

本発明は、エッチング処理室に電磁波および磁場を発生させてエレクトロンサイクロトロン共鳴によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、エッチング処理室に配設されるウエハ対向面と前記ウエハとの間隔を 30mm から 100mm に設定し、電磁波の周波数を 300MHz から 600MHz に設定して磁場勾配および前記電磁波を発生させる高周波電源の電力を決めて、プラズマ中のエッチングに寄与するラジカルおよびイオンについてそれぞれの量を独立に生成せしめエッチング処理を行うドライエッチング方法を提供する。

【0042】

本発明は、エッチング処理室に電磁波および磁場を発生させてエレクトロンサイクロトロン共鳴によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、エッチング処理室に配設されるウエハ対向面と前記ウエハとの間隔を 30mm から 100mm に設定し、電磁波の周波数を 300MHz から 600MHz に設定して磁場勾配を決めて、前記ウエハ対向面とウエハとの間に 2 種類の電子温度領域を生成せしめてプラズマ中のエッチングに寄与するラジカルおよびイオンについてそれぞれの量を独立に生成せしめエッチング処理を行うドライエッチング方法を提供する。

【0043】

本発明は、真空下で、エッチング処理室に電磁波および磁場を発生させてエレクトロンサイクロトロン共鳴によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、エッチング処理室に配設されるウエハ対向面と前記ウエハとの間隔を 30mm から 100mm に設定し、前記電磁波の周波数を 300MHz から 600MHz に設定して、ECR の位置および磁場勾配を決めて、前記ウエハ対向面とウエハとの間に 2 種類の電子温度領域を生成せしめることを特徴とするドライエッチング方法を提供する。

## 【0044】

本発明は、真空下で、エッチング処理室に少なくとも炭素とフッ素からなるガスを導入し、かつ電磁波および磁場を発生させてエレクトロンサイクロトロン共鳴によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、エッチング処理室に配設されされるウエハ対向面と前記ウエハとの間隔を30mmから100mmに設定し、前記電磁波の周波数を300MHzから600MHzに設定して、ECRの位置および磁場勾配を決めて、前記ウエハ対向面とウエハとの間に2種類の電子温度領域を生成せしめてプラズマ中の $\text{CF}_2$ に対するFおよびイオンについてそれぞれの量を独立に生成せしめてエッチング処理を行うことを特徴とするドライエッチング方法を提供する。

## 【0045】

本発明は、真空下で、エッチング処理室に少なくとも炭素とフッ素からなるガスを導入し、かつ電磁波および磁場を発生させてエレクトロンサイクロトロン共鳴によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、エッチング処理室に配設されされるウエハ対向面と前記ウエハとの間隔を30mmから100mmに設定し、前記電磁波の周波数を300MHzから600MHzに設定して、磁場勾配および前記炭素およびフッ素からなるガス流量を決めて、前記ウエハ対向面とウエハとの間に2種類の電子温度領域を生成せしめてプラズマ中の $\text{CF}_2$ に対するFおよびイオンについてそれぞれの量を独立に生成せしめ、エッチング処理を行うことを特徴とするドライエッチング方法を提供する。

## 【0046】

本発明は、エッチング処理室に少なくとも炭素およびフッ素を含むガスを導入し、かつ電磁波および磁場を発生させてエレクトロンサイクロトロン共鳴によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、エッチング処理室に配設するウエハ対向面と前記ウエハとの間隔を30mmから100mmに設定し、電磁波の周波数を300MHzから600MHzに設定して磁場勾配を制御し、磁場勾配制御により前記ウエハ対向面とウエハとの間に生成せしめる2種類の電子温度領域を可変させてイオン生成量とは独立に

$\text{CF}_2/\text{F}$ の生成比率を制御しエッチング処理を行うドライエッチング方法を提供する。

## 【0047】

本発明は、エッチング処理室に電磁波によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、エッチング処理室に配設されるウエハ対向面と前記ウエハとの間隔を30mmから100mmに設定し、第1の電磁波を放射する高周波電源の周波数と第2の電磁波を放射する高周波電源の周波数をそれぞれ300MHzから600MHzに設定し、ウエハを処理する処理台にバイアスを印加し、前記ウエハ対向面とウエハとの間に2種類の電子温度領域を生成せしめて、プラズマ中のエッチングに寄与するラジカルおよびイオンについてそれぞれの量を独立に生成せしめエッチング処理を行うドライエッチング方法を提供する。

## 【0048】

本発明は、真空下で、エッチング処理室に少なくとも炭素とフッ素からなるガスを導入し、電磁波によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、エッチング処理室に配設されるウエハ対向面と前記ウエハとの間隔を30mmから100mmに設定し、第1の電磁波を放射する高周波電源の周波数と第2の電磁波を放射する高周波電源の周波数をそれぞれ300MHzから600MHzに設定し、ウエハを処理する処理台に前記第1および第2の電磁波の周波数より低い周波数の高周波バイアスを印加し、前記ウエハ対向面とウエハとの間に2種類の電子温度領域を生成せしめて、 $\text{CF}_2$ に対するFおよびイオンについてそれぞれの量を独立に生成せしめてエッチング処理を行うことを特徴とするドライエッチング方法を提供する。

## 【0049】

本発明は、真空下で、エッチング処理室に少なくとも塩素C1あるいは臭素Brを含むガスを導入し、かつ電磁波および磁場を発生させて電子サイクロトロン共鳴によりプラズマを生成してウエハについてエッチング処理するドライエッチング方法において、エッチング処理室に配設されるウエハ対向面と前記ウエハとの間隔を30mmから100mmに設定し、電磁波の周波数を300M

H z から 6 0 0 M H z に設定して磁場勾配を決めて、前記ウエハ対向面とウエハとの間に 2 種類の電子温度領域を生成せしめ、多結晶 S i を含むゲート電極もしくは A l を含むメタル配線のエッチングプロセスに対して、プラズマ中の C l ラジカルもしくは B r ラジカル生成量とイオンの生成量を独立に生成せしめてエッチング処理を行うドライエッチング方法を提供する。

【 0 0 5 0 】

本発明は、エッチング処理室に高周波によるプラズマを生成してウエハについてエッチングするドライエッチング方法において、前記エッチング処理室に配設されたウエハ対向面とウエハの距離を 3 0 m m から 1 0 0 m m に設定し、高周波電源に高周波を 1 0 M H z から 1 0 0 M H z とし、前記高周波に依存した電子温度領域を生成せしめ、前記エッチング処理室のガス圧力が 0 . 1 P a から 4 P a の条件下で、窒化ケイ素膜に対し選択的に酸化膜をエッチングする S A C 加工を行うドライエッチング方法を提供する。

【 0 0 5 1 】

本発明は更に、ウエハの処理台には 4 0 0 K H z から 1 3 . 5 6 M H z の高周波バイアスを印加するドライエッチング方法を提供する。

【 0 0 5 2 】

本発明は更に、エレクトロンサイクロトロン共鳴の領域の磁場勾配は、E C R 条件を満たす磁場強度に対する磁場勾配の比が 0 . 1 5 / c m から 0 . 0 1 / c m の範囲とするドライエッチング方法を提供する。

【 0 0 5 3 】

【発明の実施の形態】

図 1 の装置を用いた実施形態について説明する。この装置では、エッチング処理室 1 の内部にプラズマ処理室 3 5、アンテナ 2 3、アンテナ誘電体 2 8、および処理台 5 が設置されている。プラズマ処理室 3 5 にエッチングガス（処理ガス）をアンテナ 2 3 に設けられたガス導入口 2 4 から導入し、高周波電源 1 7 において生成した 3 0 0 M H z から 6 0 0 M H z の間の電磁波をマッチングボックス 1 8 を介してアンテナ 2 3 からプラズマ処理室 3 5 に導入してプラズマを発生させる。エッチングガスとしては、シリコン酸化膜などの絶縁膜のエッチングでは

、CF系ガスが望ましくは使用される。プラズマ処理室35に効率良く電磁波を伝播させるため、アンテナ23とアンテナアース29の間で電磁波が所望のモード（ここでは、TM01）で共鳴するようにアンテナ23の外径とアンテナ誘電体28の寸法および材質が決められている。電磁波はアンテナ23とアンテナアース29の間で共鳴し、アンテナ誘電体28の周辺部よりプラズマ処理室35に伝搬される。高効率放電のために磁場発生用のソレノイドコイル4をエッチング処理室周辺にコイルケース30に納めて3つ配置し、0から320ガウスの間の磁場が処理台のほぼ真上にくるようにコイル電流を設定し、エレクトロンサイクロトロン共鳴を用いて電子密度が $10^{11}$ 個/cm<sup>3</sup>以上の高密度プラズマを発生させる。プラズマ処理室35には処理台5があり、この上に被処理物6を設置して、ガスプラズマによりエッチング処理する。エッチングガスは、ガス流量コントローラ10とバルブ9を通してプラズマ処理室35に導入され、排気ポンプ7によりプラズマ処理室35の外に排気される。プラズマ処理室35の圧力は排気ポンプ7の上部に設けられたコンダクタンスバルブ8により所定の値に制御される。また、プラズマ処理室35の側壁には内筒22が設置され、反応生成物の堆積制御や清掃時に部品交換することで清掃時間短縮が図られている。被処理物6（本発明の実施例では、被処理物6はウエハであるため、被処理物6とウエハ6を同じ意味で使用する。）を設置する処理台5には高周波電源12、マッチングボックス11を備え、400KHzから13.56MHzまでの高周波バイアスを印加できる。処理台5の位置は、アンテナ23からの距離が20mmから150mmの範囲で設定することができる。処理台5の周辺に幅30mm程度のフォーカスリング25がウエハ周辺部に設置できる構造になっており、このフォーカスリング25にウエハ6に印加される高周波がコンデンサー26（電子部品としてのコンデンサーではなく誘電体膜などを高周波バイアス印加部27の表面に形成しても良い）で分岐して10%から20%程度印加されるようになっている。フォーカスリング25の材質は、単結晶Siで、不純物ドーピングされたSiやSiCを設置することもできる。フォーカスリング25及び高周波バイアス印加部27の外周部はアルミナなどの絶縁材料からなるサセプタ14が設置され、ウエハバイアスが周辺にもれるのを防ぐとともに高周波バイアス印加部27のプラズ

マ損傷を防止している。アンテナ 23 には、アンテナ 23 に電磁波を供給する高周波電源 17 とは異なる周波数（10 kHz から 27 MHz）が印加できるように、フィルター回路 19 を介して高周波電源 20 が接続されている。アンテナ 23 の材質は、プラズマ処理室側は、不純物ドーピングされた Si で、反対側は Al である。

## 【0054】

この装置に、被処理物 6 として図 8 に示す構造が表面に形成された 8 インチシリコンウエハを隣接する搬送室（図示せず）からゲートバルブ 16 を介して搬送する。エッチング前のウエハ 88 において、シリコンウエハ 87 上には厚さ 4 nm のゲート酸化膜 86、その上の一部に多結晶 Si と W で形成された厚さ 200 nm 幅 80 nm のゲート電極 85 が形成されている。ゲート電極 85 を覆うように窒化ケイ素膜 84 がゲート電極上部には 200 nm、ゲート電極側面とゲート酸化膜上には、60 nm 形成されている。窒化ケイ素膜上部には、厚さ（最も厚い部分で）1600 nm の酸化膜 83（SOG と CVD 酸化膜）が形成されている。その上部には、厚さ 80 nm の反射防止膜 82 と直径 130 nm のホールパターンが露光現像されたレジストマスク 81 が 500 nm 形成されている。ゲート電極間にある酸化膜 83 の幅は約 60 nm である。

## 【0055】

この装置に、Ar 800 ml/min、 $C_5F_8$  20 ml/min、 $O_2$  20 ml/min からなる混合ガスをガス導入口 24 よりプラズマ処理室 35 に導入しガス圧力を 2.5 Pa にする。450 MHz、1.3 kW の電磁波によりガスプラズマを生成し、処理台 5 に 2 MHz、1000 W のバイアスを印加し、酸化膜をエッチングする。ウエハ表面からウエハ対向面であるアンテナ 23 までの距離（ギャップ）が 50 mm になるように処理台 5 の高さを調整し、ウエハ中心軸上でウエハ 6 から 35 mm の位置およびウエハ周辺でウエハ 6 から 50 mm の位置で磁場強度が 160 ガウス、その位置（ECR 高さ）における磁場勾配が 12 ガウス/cm となるようにコイル電流を調整する。磁場強度 160 ガウスは、本実施例では、アンテナ 23 に印加する電磁波の周波数を 450 MHz に設定したので、ECR 条件を満たす磁場強度となっている。この条件で、ECR 領域の厚さ

は 17 mm 程度で、この領域が高電子温度領域 101 である。電子温度は 8 eV 程度である。さらに、アンテナ 23 には、13.56 MHz の高周波バイアスを 300 W 印加する。なお、低電子温度領域 102 に対応する ECR 領域以外の電子温度は 2 eV 程度になる。 $C_5F_8$  の解離により、 $CF_2/F$  の生成比は 1.5 程度になるが、ウエハ対向面の相当するアンテナ 23 の表面におけるポリマー（エッチングガスや反応性生物などの有機系堆積物）と F との反応、および高周波電源 20 からアンテナ 23 に印加されたバイアスによりアンテナ 23 の表面の Si で F が消費され、F のウエハ 6 への入射量は少なくなる。このため、ウエハ 6 に入射する  $CF_2/F$  の比率は、12 程度になる。以上のように、ウエハ 6 とアンテナ 23 の間のギャップを決め、ECR 高さを設定するとともに磁場勾配を定めると、ECR 領域に相当する高電子領域 101 と低電子領域 102 が形成される。その結果、2 種類の電子温度に対応した  $CF_2/F$  比が得られた。もちろん、この  $CF_2/F$  比は、コイル 4 の電流値を調整して磁場勾配を変えることにより、容易に変えることができる。また、ウエハ 6 における  $CF_2$ /イオン入射比は、投入する電磁波のパワーすなわち高周波電源 17 の電力を調節することでイオン電流値を変えることができるので、容易に調整できる。なお、本実施例では、さらに  $CF_2/F$  比を調整するため、アンテナ 23 に電磁波 450 MHz とは異なる周波数の高周波バイアスを高周波電源 20 より印加し、Si からなるアンテナ 23 の表面で F を消費させる方法も示したが、この方法が、本発明において本質的な  $CF_2/F$  比の制御方法でないことは言うまでもない。

## 【0056】

$CF_2/F$  比は上記の方法で設定されたが、一方、 $C_5F_8$  から余分な C が  $C_2$  もしくは C ラジカル等でウエハへ入射する。このため、ウエハ 6 の表面に C からなる堆積膜が形成され、エッチングの進行を阻害する。したがって、このプロセスでは、堆積膜を除去するために  $O_2$  添加が必要となる。

## 【0057】

上記の設定で主なエッチング条件は定まった。次に、電磁波の投入パワーを 1000 W とすると、イオン電流密度は  $5 \text{ mA/cm}^2$  程度になる。この条件で、直径 100 nm の酸化膜ホールをエッチングすると、エッチング速度 500 nm

／min、レジストに対する選択比 8 が得られた。

【0058】

次に、図 8 に示したセルフアラインコンタクト (SAC) 構造の酸化膜エッチングを行った。その結果をエッチング後の形状 89 として示した。エッチング開始後、約 145 秒で窒化ケイ素膜 84 が現れ始める。その後、約 200 秒でエッチングが終了する。一般に、窒化ケイ素膜 84 の肩部 84a (ゲート電極の上部左右のいずれかの角) が削れやすく、肩部 84a における窒化ケイ素膜 84 と酸化膜 83 の選択比を高くすることが非常に難しい。しかるに、本実施例の条件では、窒化ケイ素膜 84 の肩部 84a の削れに対する選択比は 20 程度と、高い値が得られた。

【0059】

なお、 $CF_2/F$  を調節した場合に、エッチング特性がどのように変わるかという、たとえば、磁場勾配が 4 ガウス／cm では、レジスト選択比は高く、窒化ケイ素膜 84 もほとんど削れず、非常に高い選択比が得られる。しかし、F 不足により約 175 秒でエッチングが停止してしまう。このように、磁場勾配を調節することで選択比を制御することも可能であるが、実用的なエッチングを行うには最適な条件に設定する必要がある。

【0060】

本発明のエッチング方法をさらに有効に活用するには、エッチングの途中で磁場勾配を変えることも効果がある。エッチング開始から、170 秒までを選択比が大きく取れる磁場勾配 4 ガウス／cm でエッチングし、170 秒以降、190 秒までをエッチングが停止せず選択比もある程度確保できる磁場勾配として 8 ガウス／cm に調節し、200 秒までを SAC の穴底までエッチングが進行する磁場勾配である 12 ガウス／cm でエッチングする。この場合、窒化ケイ素膜 84 の削れ量は最小限に押さえられ、窒化ケイ素膜肩部に対する選択比が 30 程度になる。

【0061】

エッチングの途中で磁場勾配を変えて高電子温度領域 101 と低電子温度領域 102 を制御し、 $CF_2/F$  比の最適化を図った実施例について示したが、本発



明の本質は、エッチングの途中で  $CF_2/F$  比を最適化することにある。すなわち、磁場勾配を調節する変わりに、ECR高さを変えても良い。ギャップやガス流量、電磁波の投入パワーなども同様である。

## 【0062】

なお、磁場勾配の調整範囲は、コイル4の配置や電流範囲で制約されるが、アンテナ23に450MHzを導入した場合のECR磁場強度160ガウスを基準にすると、1.6ガウス/cmから24ガウス/cmの範囲とすれば良い。すなわち、磁場勾配/ECR磁場強度を0.15/cmから0.01/cmの範囲とする。

## 【0063】

次に、ウエハ6へのFの入射量が変わるとエッチング特性がどのように変化するかについて述べ、本発明による  $CF_2$ 、Fの制御が重要であることを示す。

## 【0064】

ギャップおよびECR高さを一定とし磁場勾配を8ガウス/cmに固定して、上記条件でアンテナ23にバイアスを印加し、アンテナ表面のSiとFの反応を制御することでFの量を変えた場合のエッチング特性について調べた。アンテナ23のバイアス印加を変えるため高周波電源20のパワーを300Wから200Wにすると、アンテナ23でのFの消費量が減る。その結果、ホール加工における到達深さは、12ガウス/cmと同程度になり、窒化ケイ素膜肩部に対する選択比は20程度になる。さらに、高周波電源20のパワーを100Wにすると、ホールの到達エッチング深さは深くなるが、十分な肩選択比が得られなくなる。さらに高周波電源20のパワーを小さくすると、アンテナ表面に堆積物が付着し、安定なエッチングが難しくなる。以上の結果から、 $CF_2/F$ が大きくなるとホールの到達エッチング深さは深くなるが、窒化シリコンと酸化膜との選択比が小さくなることがわかる。逆に、 $CF_2/F$ を小さくする、すなわちFを少なくした場合、選択比の向上が期待される。高周波電源20のパワーを800Wまで上げると、さらにFの消費が増え、レジスト選択比は高くなり、窒化ケイ素膜の選択比が30程度に高くなるが、エッチング残りが生じる。これを解消するため、高周波電源20のパワーを800Wにしたままで  $O_2$  流量を23ml/min

にすると、エッチング残りは無くなるが、窒化ケイ素膜の選択比は23程度まで小さくなる。高周波電源20のパワーをさらに上げるとFの消費効果は見られるが、1000Wを越えるとアンテナ23での表面反応が活発になり、その反応生成物がウエハ表面に付着し、エッチング残渣となる。したがって、 $CF_2/F$ を適切な範囲に設定することが、エッチング深さと選択比の確保の上で重要である。

## 【0065】

次に、エッチング特性に及ぼすギャップの影響について示す。

## 【0066】

前述のエッチング条件とした上で、高周波電源20のパワーを300Wとし、磁場勾配4ガウス/cmでギャップを50mmから90mm程度まで広げると、ギャップ50mmの場合にはF不足のためエッチング深さが取れなかったのに対し、磁場勾配の減少による高電子温度領域101の増加とギャップが広がったための低電子温度領域102の増加によりFが増えるためエッチストップは解消された。なお、この場合の窒化ケイ素膜肩部に対する選択比は20程度になる。

## 【0067】

さらにギャップを広げ、100mmを越えると、 $C_5F_8$ が過剰解離し、C、Fラジカルが過剰になる。このため、エッチストップが発生し、磁場勾配によるラジカル制御を行っても十分な選択性が得られなくなる。逆にギャップを30mm未満にすると、ECR領域とギャップがほぼ同じになるため高電子温度領域101のみが形成されるので、磁場勾配による解離制御が難しい。さらに、ガス導入口24から供給されたガス流れがウエハ6とアンテナ23間の狭い空間を流れることになるので、ウエハ表面に圧力分布が発生するため、均一に加工することが難しくなる。以上述べたように、ウエハ6とアンテナ23間のギャップを30mmから100mmの範囲に設定することで、高電子温度領域101と低電子温度領域102の広さを変えることができ、結果として $CF_2/F$ の調整が可能となる。なお、本実施例ではウエハ6とアンテナ23間のギャップについて述べたが、ウエハ6とウエハ対向面でも同様であり、アンテナ23に限定されるものではない。

## 【0068】

次に、本発明において好適な圧力範囲について述べる。一般に、圧力が低いと電磁波で加速された電子が他のガス分子に衝突するまでに得るエネルギーが大きくなる、すなわち電子温度が高くなる傾向にある。本発明の物理的な意味は、電子温度とその領域を制御し、ガス分子の解離を制御することにあるので、圧力範囲も重要な意味を持つ。ただし、ガス分子の解離エネルギーはガス分子の種類によって異なるので、エッチングガスの種類により、好適な電子温度と圧力範囲は異なる。

## 【0069】

Ar ガス流量を  $400\text{ ml/min}$  にし、ガス圧力を  $0.1\text{ Pa}$  にすると、低電子温度領域 102 の電子温度が  $2.8\text{ eV}$  と高くなる。酸素流量を  $5\text{ ml/min}$  とし、ギャップ  $50\text{ mm}$ 、磁場勾配を  $4\text{ Gauss/cm}$  の条件でエッチングした場合、窒化ケイ素肩部の選択比は、18 程度であるが、さらにガス圧力を  $0.1\text{ Pa}$  より低くすると、低電子温度領域 102 の電子温度が急激に高くなり、磁場勾配による  $\text{CF}_2/\text{F}$  の制御が難しくなる。また、レジスト選択比の観点からガス圧力の影響を調べると、ガス圧力  $2.5\text{ Pa}$  から  $1.5\text{ Pa}$  ではレジスト選択比が 8 程度であるが、ガス圧力を  $0.5\text{ Pa}$  ではレジスト選択比が 6 程度に下がり、さらにガス圧力を  $0.1\text{ Pa}$  まで下げるとレジスト選択比が 5 程度まで低下してしまう。レジスト選択比を高くする必要性から、ガス圧力は  $0.1\text{ Pa}$  以上にしなければならない。このような理由により、CF 系ガスによるエッチングの場合は、圧力の下限が  $0.1\text{ Pa}$  程度となる。ガス圧力を  $4\text{ Pa}$  にすると、ガスの滞在時間が低圧力の場合に比べ長くなるため、反応生成物のウエハ 6 への入射量が増加する。このため、ウエハ 6 の表面に堆積性の付着物が形成される傾向となり、磁場勾配を  $12\text{ Gauss/cm}$ 、ギャップ  $50\text{ mm}$ 、高周波電源 20 のパワー  $300\text{ W}$  の条件では、ホール底面にエッチング残りが生じる。堆積性の付着物を F で除去するため、高周波電源 20 のパワー  $300\text{ W}$  から  $150\text{ W}$  に下げて F の消費量を抑制すると、エッチング残りは消失した。さらにガス圧力を  $6\text{ Pa}$  まで高くすると、ガス滞在時間が長くなり、エッチング残りが発生しやすい状況となる。ただし、Ar 流量を  $1200\text{ ml/min}$  まで増やしてやると、ガス滞在

時間は4 Paの場合と同じになるので、同様なエッチング深さが得られる。さらにガス圧力を高くすると、斜めイオン入射が増加し、垂直な加工形状を得ることが難しくなる他、反応生成物（主にレジストの反応生成物）の解離により、エッチングガスの $\text{CF}_2/\text{F}$ 生成比を磁場勾配で制御しても、プラズマ中の組成制御が難しくなる。以上のような理由により、CF系ガスによるエッチングのガス圧力の上限は4 Paとなる。なお、加工寸法がさらに微細化した場合のガス圧力の影響を調べた。上記の結果を得たホール径130 nmから100 nmに小さくすると、4 Paでは酸素流量を増加しても十分なホール内エッチング速度を得ることが難しくなる。しかし、ガス圧力を3 Pa以下にすると、ホール径130 nmの場合とほぼ同様なエッチングが可能である。ホール径がさらに小さい80 nmの場合には、ガス圧力を2.5 Pa以下にすれば良い。このように、加工寸法の微細化への対応には低圧化が有効であることがわかったが、本発明の下限圧力0.1 Paから上限圧力4 Paの圧力範囲で十分対応することができる。

## 【0070】

以上述べたように、磁場勾配を制御するとイオン電流を一定に保ったまま、 $\text{CF}_2/\text{F}$ 比を変えることができる。磁場勾配を小さくすることによってレジストに対する選択比は高くなる。しかしながら、磁場勾配をより小さくするということは各部の磁場強度差を小さくすることであり、エッチング装置内に均一な磁場を形成することを意味する。これを実現するには、エッチング装置周辺に多くのコイルを設置する必要がある。これに対し、ECR条件を満たす磁場強度が小さくなると、実効的にECR条件を満たす磁場勾配もそれに比例して小さくなるので、容易に磁場勾配を制御することができる。ECR条件を満たす磁場強度は、プラズマ生成用電磁波の周波数によって決まるので、電磁波の低周波数化がコイル設計や装置の低コスト化にとって有利である。本実施例では、上記の他にプラズマ開始の容易性、ECR領域で生成されるプラズマの電子温度などを考慮し、電磁波の周波数を300 MHzから600 MHzの範囲とした。

## 【0071】

以上の実施例では、エッチングガスとして $\text{Ar}/\text{C}_5\text{F}_8/\text{O}_2$ の場合を示したが、他のエッチングガスのガス種として、CF系ガスである $\text{C}_4\text{F}_8$ 、 $\text{C}_4\text{F}_6$

6、 $C_3F_6$ 、 $C_3F_8$ を用いても、最適な $O_2$ 流量は異なるがほぼ同様な結果になる。 $O_2$ の代わりに、 $SF_6$ 、 $CF_4$ 、 $SiF_4$ を用いても同様な結果が得られる。その他、 $SiH_2F_2$ 、 $SiH_4$ 、 $CO$ ガスの添加により、レジストに対する選択性を高めることができる。

#### 【0072】

また、Fの制御のためアンテナ23に印加する高周波バイアスをウエハ6に印加する高周波電源12から分岐して用いても同様な結果になる。分岐の際は、アンテナ23に印加される高周波バイアスの位相をウエハ6に印加される高周波バイアスの位相から90度程度ずらすと効果的である。

#### 【0073】

被エッチング膜である酸化膜の材質を、ボロン、リンを含むガラス材料(BPSG、PSG)、有機物を含むシリコンガラス(有機SOG)、Fを含む酸化膜等の絶縁膜でも同様の結果になる。

#### 【0074】

次に図1の装置を用いた別の実施形態について説明する。

#### 【0075】

この装置に、被処理物として8インチシリコンウエハを搬送する。このシリコンウエハ上には厚さ $0.1\mu m$ の窒化ケイ素膜、その上に厚さ $1.5\mu m$ の酸化膜が形成されその上部にはマスクパターンを転写したレジストマスクが形成されている。レジストマスクには、 $150nm$ 径のホールが形成されている。

#### 【0076】

この装置に、 $Ar\ 200ml/min$ 、 $C_4F_8\ 10ml/min$ の混合ガスをガス導入口24よりプラズマ処理室35に導入しガス圧力を $1Pa$ にする。 $450MHz$ 、 $1kW$ の電磁波によりガスプラズマを生成し、処理台5に $800KHz$ 、 $800W$ のバイアスを印加し、酸化膜をエッチングする。処理台5の位置をアンテナ23から $60mm$ として、ウエハ6の真上 $40mm$ の位置で磁場強度が $160$ ガウス、その位置(ECR高さ)における磁場勾配が $4$ ガウス/cmとなるようにコイル電流を調整する。この条件で、高電子温度領域101となるECR領域の厚さは $35mm$ 程度で、電子温度は $8eV$ 程度である。低電子温度領

域 102 となる ECR 領域以外の電子温度は 2 eV 程度になる。 $C_4F_8$  の解離により、 $CF_2/F$  の生成比は 1.0 程度になるが、アンテナ 23 の表面における F の消費などで、ウエハ 6 への F 入射量はさらに少なくなる。このため、ウエハに入射する  $CF_2/F$  の比率は、3 程度になる。イオン電流密度は  $5\text{ mA/cm}^2$  程度になる。この条件で、酸化膜のエッチング速度は約  $500\text{ nm/min}$  でレジストに対する選択比は 20、下地の窒素化膜に対する選択比は 30 である。

## 【0077】

コンタクトホール径が  $150\text{ nm}$  のままで酸化膜の膜厚を  $3\text{ }\mu\text{m}$  と十分厚くし、どの程度の深さまでエッチングができるかを調べた。その結果、深さ約  $2\text{ }\mu\text{m}$  で停止した。従来技術では、このような場合、酸素ガスを添加してホール底の堆積成分を除去し、エッチング停止を防止する必要があった。しかし、酸素ガスを添加する場合、レジストの選択比が 5 程度に低下する。これに対し本発明では、磁場勾配を  $4\text{ ガウス/cm}$  から  $10\text{ ガウス/cm}$  に大きくし、F の発生量を増やすと、酸化膜の膜厚が  $3\text{ }\mu\text{m}$ 、コンタクトホールの径が  $150\text{ nm}$  のエッチングでは、途中で停止することなくほぼ垂直な加工形状が得られる。このとき、レジストに対する選択比は 10 程度に小さくなるが、酸素添加に比べ選択比は大きくなる。

## 【0078】

このように、同じガス条件でも磁場勾配を変え  $CF_2/F$  比を制御することにより、異なるエッチング条件に対応することが容易になるとともに、酸素ガス等の添加が不要になる。

## 【0079】

添加ガスが不要になる他の実施例を示す。

## 【0080】

アンテナ 23 に印加する電磁波の周波数が  $450\text{ MHz}$ 、磁場勾配が  $4\text{ ガウス/cm}$  と同じエッチング条件で、ウエハ 6 とアンテナ 23 の距離を  $60\text{ mm}$  から  $100\text{ mm}$  に変え、厚さが  $1.5\text{ }\mu\text{m}$  の酸化ケイ素膜にパターニングされた径が  $150\text{ nm}$  のコンタクトホールの加工を行う。ギャップを広くすることにより、

低電子温度領域 102 が増加するとともに、アンテナ 23 の表面における F 消費の影響が小さくなるため、ウエハ 6 への F の相対的な入射量は増加する。このため、レジストや窒化膜に対する選択比はそれぞれ 10 と 12 と小さくなる。なお、ギャップが 100 mm 以上では、選択比の変化は見られなかった。この条件に、 $\text{CH}_2\text{F}_2$  ガスを 5 ml/min 程度加えると、レジストの選択比は 20、窒化膜の選択比は 25 程度になるが、 $\text{CH}_2\text{F}_2$  は堆積性が強く内壁面に付着するためクリーニングの頻度が増え、スループットが低下する。すなわち、ギャップを短くし、選択比を向上させる方がスループットの点で有利になる。しかし、ギャップを 40 mm まで短くすると、F の入射量が減り、選択比は大きくなるが、1.2  $\mu\text{m}$  程度の深さでエッチングが停止する。このように、ウエハ 6 とアンテナ 23 の距離、磁場勾配の制御により  $\text{CF}_2/\text{F}$  を制御することで、ガスを添加することなく所望のエッチング特性が得られる。なお、酸素添加を行えば、ギャップを 30 mm まで短くしても十分満足すべきエッチング特性が得られる。

#### 【0081】

次に図 10 の装置を用いた別の実施形態について説明する。この装置ではプラズマ処理室 35 にガス導入口 66 よりエッチングガスを導入し、第一の高周波電源 61 および第二の高周波電源 62 において 10 MHz から 100 MHz の間の高周波を発生させ、この高周波をリングアンテナ 63、64 から、セラミック材料からなるウエハ対向面 65 を通してプラズマ処理室 35 に導入してガスプラズマを発生させる。高周波電源 61、62 にはそれぞれマッチングボックス 67、68 が設けられ、プラズマ中に効率よく電力供給を行うようにしてある。プラズマの電子密度は  $10^{11}$  個/cm<sup>3</sup> 以上の高密度プラズマになる。プラズマ処理室 35 には処理台 5 があり、この上に被処理物(ウエハ)6 を設置して、ガスプラズマによりエッチング処理する。エッチングガスは、ガス流量コントローラー 10、バルブ 9 を通してプラズマ処理室 35 に導入され、排気ポンプ 7 によりエッチング処理室 1 の外に排気される。被処理物 6 を設置する処理台 5 には高周波電源 12、マッチングボックス 11 を備え、400 KHz から 13.56 MHz までの高周波バイアスを印加できる。ウエハ対向面 65 は、Si と SiC が各 50 % のセラミック材料である。ウエハ 6 とウエハ対向面 65 までの距離は 20 mm

から 150 mm の間で調整できるように処理台 5 に上下機構が設置されている。そして、望ましくは処理台 5 とウエハ対向面 65 は 30 mm から 100 mm の間の距離が採用され得る。なお、図 10 の各部で図 1 と同じ作用を示す部材は図 1 と同じ番号を付けてあるので、詳細説明は省略する。

## 【0082】

この装置に、被処理物として 8 インチシリコンウエハを搬送する。このシリコンウエハ上には厚さ  $2\ \mu\text{m}$  の酸化膜が形成されその上部にはマスクパターンを転写したレジストマスクが形成されている。レジストマスクには、200 nm 径のホールが形成されている。

## 【0083】

この装置に、 $\text{Ar}\ 30\text{ ml/min}$ 、 $\text{C}_3\text{F}_8\ 20\text{ ml/min}$ 、 $\text{H}_2\ 8\text{ ml/min}$  の混合ガスをガス導入口よりエッチング処理室 1 に導入しガス圧力を 0.7 Pa とし、ウエハ 6 とウエハ対向面 65 までの距離を 70 mm となるように処理台 5 を調整する。13.56 MHz の 1500 W の高周波を第一のリングアンテナ 63 に印加し、13.56 MHz の 1000 W の高周波を第二のリングアンテナ 64 に印加し、ガスプラズマを発生させ、処理台 5 に 800 kHz、1200 W のバイアスを印加し、酸化膜をエッチングする。この条件で、第一のリングアンテナ 63 付近の電子温度は、約 10 eV であり、ウエハ付近では 4 eV になる。酸化膜のエッチング速度は約 700 nm/min でレジストに対する選択比は 25 程度になるが、コンタクトホールの中でエッチングの停止が見られる。

## 【0084】

次に、第二のリングアンテナ 64 に印加する高周波パワーを 500 W にし、周波数を 100 MHz にすると、ウエハ付近の電子温度は 2 eV 程度に小さくなる。プラズマ密度は高パワーを投入した第一のリングアンテナ 63 でほぼ決まるため、イオン電流密度は変わらず、酸化膜のエッチング速度は 700 nm/min であるが、電子温度の低下によりレジストの選択比は 10 程度に小さくなる。ただし、この条件では、エッチングの停止は生じない。



【0085】

エッチング中に、第二のリングアンテナ 6 4 に印加する高周波パワーを 1 0 0 MHz のままで 1 0 0 0 W から 5 0 0 W にエッチング時間の経過とともに変えていくと、エッチングの停止なく、コンタクトホールが形成され、エッチング中の平均のレジスト選択比は 2 0 程度になる。

【0086】

プラズマ処理室 3 5 に導入されるガスのガス圧力は前述した実施形態と同様に 0. 1 ないし 4 Pa が採用し得る。

【0087】

このように、ECR ではない誘導コイル方式のプラズマにおいても、複数の誘導コイルを設けて各々に印加する高周波の周波数と電力を調節することにより、プラズマ処理室内の電子温度の制御が可能である。このような方法で CF 系ガスの解離制御を行うことにより、エッチング深さや選択比を満足したエッチングが可能となる。本方式においても、本質的には ECR 方式と同様な原理に基づいているので、ギャップの調整などの作用は同様である。なお、ウエハ対向面を誘電体でかつエッチングガスと反応する材料（単結晶 Si や 石英、アルミナ、SiC など）で構成すれば、表面でエッチングガスとの反応が生じ、エッチング種の制御が可能になるのは、すでに述べたとおりである。さらに本装置は、誘導結合型であるため、ウエハ対向面に電気伝導性がある材料（アルミ、P、B 等をドーブした Si もしくは SiC など）を用いることも可能である。なお、図 1 0 に示した装置形態と本質的には同じであるが、図 9 に示した装置構造でも同様である。図 9 の装置は、2 組のアンテナがウエハ対向面上にあった図 1 0 とは異なり、やや傾斜した側壁を有し、その側壁に 2 組のアンテナ 6 3、6 4 を配したものである。アンテナの位置が異なるのみで、本発明の作用効果は同様である。また、エッチング室を図 1 0 に示した円筒状とし、アンテナを側壁部に配しても同様な効果が得られる。なお、図 9 の装置において、図 1 や図 1 0 と同じ番号の部材は同じ機能を示すもの（排気系は省略してある）であり、詳細説明は省く。

【0088】

図 1 1 の装置を用いた別の実施形態について説明する。この装置では、エッチ

ング処理室 1 の内部にプラズマ処理室 3 5、大気アンテナ 3 4、アンテナ誘電体 2 8、石英板 3 3、ガス導入口のある誘電体 1 3 および処理台 5 が設置されている。プラズマ処理室 3 5 にエッチングガスを誘電体 1 3 のガス導入口から導入し、高周波電源 1 7 において生成した 3 0 0 M H z から 6 0 0 M H z の間の電磁波をマッチングボックス 1 8 を介し大気アンテナ 3 4 からプラズマ処理室 3 5 に導入してガスプラズマを発生させる。プラズマ処理室 3 5 に効率良く電磁波が伝搬するように、大気アンテナ 3 4 とアンテナアース 2 9 の間で電磁波が所望のモード（ここでは、T M 0 1）で共鳴するようにアンテナ 3 4 の外径とアンテナ誘電体 2 8 の寸法および材質が決められている。電磁波はアンテナ 3 4 とアンテナアース 2 9 の間で共鳴し、アンテナ誘電体 2 8 の周辺部より石英板 3 3 を通してプラズマ処理室 3 5 に伝搬される。高効率放電のために磁場発生用のソレノイドコイル 4 をエッチング処理室周辺にコイルケース 3 0 に納めて 3 つ配置し、0 から 3 2 0 ガウスの間の磁場が処理台 5 のほぼ真上にくるようにコイル電流を制御し、エレクトロンサイクロトロン共鳴（E C R）を用いて電子密度が  $10^{11}$  個/cm<sup>3</sup> 以上の高密度プラズマを発生させる。プラズマ処理室 3 5 には処理台 5 があり、この上に被処理物 6 を設置して、ガスプラズマによりエッチング処理する。エッチングガスは、ガス流量コントローラー 1 0 とバルブ 9 を通してエッチング処理室 1 に導入され、排気ポンプ 7 によりエッチング処理室 1 の外に排気される。プラズマ処理室 3 5 の圧力は、排気ポンプ 7 の上部に設けられたコンダクタンスバルブ 8 で制御される。ウエハ 6 を設置する処理台 5 には高周波電源 1 2、マッチングボックス 1 1 を備え、4 0 0 K H z から 1 3. 5 6 M H z までの高周波バイアスを印加できる。プラズマ処理室 3 5 の側壁部には石英製の内筒 2 2 が設置され、内筒 2 2 の支持を兼ねてアース 2 が設けられている。

#### 【 0 0 8 9 】

この装置に、被処理物として図 1 2 に示す構造が形成された 8 インチシリコンウエハを隣接する搬送室(図示せず)からゲートバルブ 1 6 を介して搬送する。図 1 2 の左図はエッチング前の断面形状 1 2 1 である。このシリコンウエハ 1 2 9 上には厚さ 4 n m のゲート酸化膜 1 2 8、その上に厚さ 1 0 0 n m の p 型の多結晶 S i 膜 1 2 6 と n 型の多結晶 S i 膜 1 2 7 が混在して形成され、その上には 1

0 nmのWN膜 125と100 nmのW膜 124が形成されている。W膜上にエッチングマスクとして幅140 nmにパターニングおよび加工された厚さ100 nmの酸化膜 123が形成されている。

【0090】

この装置に、 $\text{CF}_4$ ガスを45 ml/min、 $\text{HBr}$ ガスを15 ml/min、 $\text{O}_2$ ガスを25 ml/min、 $\text{N}_2$ ガスを8 ml/minを誘電体 13上に形成されたガス導入口よりプラズマ処理室 35に導入しガス圧力を0.5 Paにする。450 MHz、600 Wの電磁波によりガスプラズマを生成し、処理台 5に400 kHz、60 Wのバイアスを印加し、W膜とWN膜をエッチングする。処理台 5の上に設置されたウエハ 6からウエハ対向面にあたる誘電体 13までの距離（ギャップ）を70 mmとして、ウエハ 6の真上60 mmの位置で磁場強度が160 ガウス、その位置における磁場勾配が15 ガウス/cmとなるようにコイル電流を調整する。ここで160 ガウスはECR条件を満足する磁場強度であり、磁場勾配/磁場強度は0.09/cmである。この条件で、高電子温度領域に対応するECR領域の厚さは15 mm程度で、電子温度は8 eV程度である。低電子温度領域に対応するECR領域以外の電子温度は2 eV程度になる。

【0091】

W膜およびWN膜のエッチング後、 $\text{Cl}_2$ ガスを20 ml/min、 $\text{HBr}$ ガスを80 ml/min、 $\text{O}_2$ ガスを4 ml/minをプラズマ処理室 35に導入し、450 MHzの電磁波を大気アンテナ 34に500 W印加しプラズマを生成する。ウエハ 6に入射するイオン電流密度は、1.5 mA/cm<sup>2</sup>程度である、ウエハ 6に印加する高周波バイアスのパワーを40 Wにし、p型とn型の多結晶Siをエッチングする。ゲート酸化膜 128までエッチングが進行したら、 $\text{Cl}_2$ ガスを0 ml/minとし、 $\text{HBr}$ ガスを70 ml/min、 $\text{O}_2$ ガスを6 ml/min導入し、ガス圧力を0.4 Paにする。

【0092】

$\text{Cl}_2$ の解離は2.5 eV程度のエネルギーが必要であるため、低電子温度領域では、 $\text{Cl}_2$ の解離が進まず、Clラジカルの入射量が少なくなる。このため、n型の多結晶Si側面のサイドエッチングが大幅に抑制され、p型の多結晶S

i とほぼ同じ垂直性で加工される（図 12 の右図 122 はエッチング後の形状を示す。）。深さ方向のエッチングは  $\text{Cl}_2$  の解離吸着とイオン入射で進行するため、 $\text{Cl}$  ラジカルが減少してもエッチング速度は、ほぼ  $200 \text{ nm/min}$  で変わらない。

【0093】

磁場勾配が  $5 \text{ Gauss/cm}$  の条件（磁場勾配／磁場強度は  $0.03/\text{cm}$  となる）では高電子温度領域が広がって、 $\text{Cl}_2$  の解離が進むため溝の側面への  $\text{Cl}$  ラジカルの入射量が増加し、 $n$  型多結晶  $\text{Si}$  ではサイドエッチングが発生しやすくなる。サイドエッチングを少なくするため、 $\text{O}_2$  ガスを  $8 \text{ ml/min}$  まで増加させると、今度は  $p$  型多結晶  $\text{Si}$  の側面に強い保護膜が形成され、形状の太り（順テーパ形状）が生じ、 $n$  型多結晶  $\text{Si}$  と同じ垂直性を得ることが難しい。

【0094】

ガス圧力を  $0.4 \text{ Pa}$  から  $0.8 \text{ Pa}$  に高くしても垂直形状が得られるが、ガス圧力を  $1.2 \text{ Pa}$  以上にすると孤立したパターンで加工形状に太りが生じる。ガス圧力を  $0.15 \text{ Pa}$  と低くした場合は、 $0.4 \text{ Pa}$  のエッチング形状とほぼ同様な結果が得られるが、さらに  $0.1 \text{ Pa}$  より低圧力になると、低電子温度領域の電子温度が高くなり  $\text{Cl}_2$  の解離が進むため、 $p$  型と  $n$  型の加工形状差を小さくすることが難しくなる。

【0095】

多結晶  $\text{Si}$  エッチング後は、エッチ残りを防ぐためガス圧力を  $0.8 \text{ Pa}$  とし、 $\text{HBr}$  ガス  $90 \text{ ml/min}$ 、 $\text{O}_2$  ガス  $7 \text{ ml/min}$  で  $15$  秒処理する。

【0096】

以上のように、ゲート電極の加工でも、2つの電子温度領域を制御することにより、サイドエッチングが抑制され、 $p$  型と  $n$  型でほぼ同等の加工形状を得ることができる。

【0097】

$\text{Cl}_2$  ガスと  $\text{BCl}_3$  ガスを含むメタル配線加工でも、同様に低電子温度領域を広くすることにより、 $\text{Cl}$  ラジカル量が減り、垂直加工が容易になる。

## 【0098】

$N_2$  ガスと  $H_2$  ガスによる有機絶縁膜のエッチングでは、2つの電子温度領域を制御し、ウエハ上の電子温度を小さくすることにより、反応生成物の解離が抑制され不必要な堆積が無くなるため、ホールや溝の底面が平坦になるようにエッチングを進行することができる。ガスとして  $NH_3$  を用いても同様である。

## 【0099】

次に図1の装置を用いた別の実施形態について説明する。

## 【0100】

この装置に、被処理物として8インチシリコンウエハを搬送する。このシリコンウエハ上にはゲート電極が形成されその上に窒化ケイ素膜、その上に厚さ0.7  $\mu m$ の酸化膜が形成されその上部にはマスクパターンを転写したレジストマスクが形成されている。レジストマスクには、250 nm径のホールが形成されている。具体的には、図8のエッチング前の断面形状88の相似構造になっており、酸化膜上部から近接した窒化ケイ素膜までの距離は約0.4  $\mu m$ である。

## 【0101】

この装置に、 $Ar$  400 ml/min、 $C_4F_8$  および  $O_2$  の混合ガスを導入口24よりプラズマ処理室35に導入しガス圧力を2 Paにする。450 MHz、1.3 kWの電磁波によりガスプラズマを生成し、処理台5に400 KHz、1000 Wの高周波バイアスを印加し、酸化膜をエッチングする。アンテナ23には、周波数85 kHzの別の高周波電源20より400 Wのバイアスを印加する。処理台5の位置をアンテナ23から80 mmとして、ウエハ中心部の真上50 mmの位置で磁場強度が160 ガウス、その位置における磁場勾配が15 ガウス/cm、ウエハ周辺部の真上60 mmの位置で磁場強度が160 ガウスとなるようにコイル電流を調整する。この条件で、高電子温度領域101に対応するECR領域の厚さは35 mm程度で、電子温度は8 eV程度である。低電子温度領域102に対応するECR領域以外の電子温度は2 eV程度になる。イオン電流密度は5 mA/cm<sup>2</sup>程度になる。この条件での、 $C_4F_8$  ガス流量を4 ml/minから40 ml/minの範囲でエッチングを行う。 $O_2$  流量は、 $O_2/C_4F_8$  流量比が0.5になるように調整した。酸化膜のエッチング速度は、 $C_4$

$F_8$  ガス流量の増加とともに増加する。ウエハ上の  $CF_2 / (F + O)$  入射比および  $CF_2 /$  イオン入射比は、それぞれ図 1 3 の曲線 1 3 1 および 1 3 2 に示すように、 $C_4F_8$  ガス流量比依存性がある。ここで、O ラジカルが窒化ケイ素膜をエッチングすることから、O の入射についても取り入れた。 $C_4F_8$  ガス流量比が小さいと、 $CF_2$  による窒化ケイ素膜が保護されず、 $C_4F_8$  ガス流量比が大きくなると、F および O により窒化ケイ素膜がエッチングされることがわかる。図 1 4 の曲線 1 4 1 に窒化ケイ素膜肩部の選択比の  $C_4F_8$  ガス流量比依存性を示す。低  $C_4F_8$  ガス流量比では、イオンスパッタにより、高  $C_4F_8$  ガス流量比では、F および O によるエッチングのため、窒化ケイ素膜肩部の選択比は低下する。この条件では、最適な高  $C_4F_8$  ガス流量比は、2 % から 5 % 程度である。同じ条件でガス種を変え、 $C_5F_8$  ガスの場合は、 $C_5F_8$  ガス流量比 1 % から 3 % 程度が最適になる。図 1 4 において、曲線 1 4 1 は  $CF_2 / (F + O)$  入射比に対するもので、曲線 1 4 2 は、 $CF_2 /$  イオンに対するものであり、曲線 1 4 2 に示すように加工形状の垂直性（テーパ角）で、テーパ角は、 $CF_2 /$  イオン入射比で決まり、低  $C_4F_8$  ガス流量比で垂直加工形状になる。

【0 1 0 2】

【発明の効果】

本発明により、CF 系処理ガスを使用して、 $CF_2 / F$  の生成比が任意に制御できるため、ガス圧力、ガス流量に大きく依存することなく、レジストや窒素化膜に対する選択比が高い、酸化膜エッチングが可能になる。本発明を用いると、アスペクト比の高いコンタクトホール加工やレジストおよび窒化ケイ素膜に対して高い選択比で酸化膜の加工ができる。1 Pa から 4 Pa の低ガス圧力条件での、上記エッチングが可能になるため、アスペクト比の高いコンタクトホールで垂直加工形状が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明を適用したドライエッチング装置の断面図および本発明の 2 種類の電子温度領域の形成を示す概念図。

【図 2】

E C R 条件を満たす磁場強度に対する磁場勾配の比と高電子温度領域の厚さの  
関係を示す図。

【図 3】

磁場勾配の制御による 2 種類の電子温度領域の形成と  $C F_2 / F$  生成比の関係  
を示す図。

【図 4】

被処理物と被処理物対向面の距離と F および  $C F_2$  生成量の関係を示す図。

【図 5】

被処理物と被処理物対向面の距離と  $C F_2 /$  イオン入射比の関係を示す図。

【図 6】

プラズマ生成の高周波パワーと被処理物上の  $C F_2 /$  イオン入射比の関係を示  
す図。

【図 7】

プラズマ生成の高周波パワーと被処理物上のイオン電流密度の関係を示す図。

【図 8】

酸化膜ホールの加工前と加工後の形状の断面図。

【図 9】

本発明を適用する別のドライエッチング装置の断面図。

【図 1 0】

本発明を適用する別のドライエッチング装置の断面図。

【図 1 1】

本発明を適用する別のドライエッチング装置の断面図。

【図 1 2】

被処理物の加工前と加工後の形状の断面図である

【図 1 3】

被処理物上の  $C F_2 / (F + O)$  入射比および  $C F_2 /$  イオン入射比の  $C_4 F_8$   
ガス流量比依存性を示す図。

【図 1 4】

窒化ケイ素膜肩部の選択比と加工形状（テーパ角）の  $C_4F_8$  ガス流量比依存性を示す図。

【符号の説明】

1…エッチング処理室、2…アース、4…コイル、5…処理台、6…被処理物、7…排気ポンプ、8…コンダクタンスバルブ、9…バルブ、10…流量コントローラ、11…マッチングボックス、12…高周波電源、14…サセプタ、16…ゲートバルブ、17…高周波電源、18…マッチングボックス、19…マッチングボックス、20…高周波電源、21…、22…内筒、23…アンテナ、24…ガス導入口、25…フォーカスリング、26…コンデンサー、27…高周波バイアス印加部、28…アンテナ誘電体、29…アンテナアース、30…コイルケース、33…石英板、34…大気アンテナ、35…プラズマ処理室、61…第一の高周波電源、62…第二の高周波電源、63…第一のリングアンテナ、64…第二のリングアンテナ、65…ウエハ対向面、66…ガス導入口、67…第一のマッチングボックス、68…第二のマッチングボックス、81…レジストマスク、82…反射防止膜、83…酸化膜、84…窒化ケイ素膜、85…ゲート電極、86…ゲート酸化膜、87…シリコンウエハ、88…エッチング前の形状、89…エッチング後の形状、101…高電子温度領域、102…低電子温度領域、201…高電子温度領域、301…ギャップ 20 mm における  $CF_2/F$  生成比、302…ギャップ 70 mm における  $CF_2/F$  生成比、304…ギャップ 100 mm における  $CF_2/F$  生成比、305…ギャップ 120 mm における  $CF_2/F$  生成比、401… $CF_2$  生成量、402…F 生成量、403…高電子温度領域、501… $CF_2$ /イオン入射比、601… $C_4F_8$  ガス流量 10 ml/min における  $CF_2$ /イオン入射比、602… $C_4F_8$  ガス流量 20 ml/min における  $CF_2$ /イオン入射比、603… $C_4F_8$  ガス流量 30 ml/min における  $CF_2$ /イオン入射比、701…イオン電流密度、121…エッチング前の形状、122…エッチング後の形状、123…酸化膜マスク、124…W膜、125…WN膜、126…p型多結晶 Si 膜、127…n型多結晶 Si 膜、128…ゲート酸化膜、129…シリコンウエハ、131… $CF_2/(F+O)$  入射比、





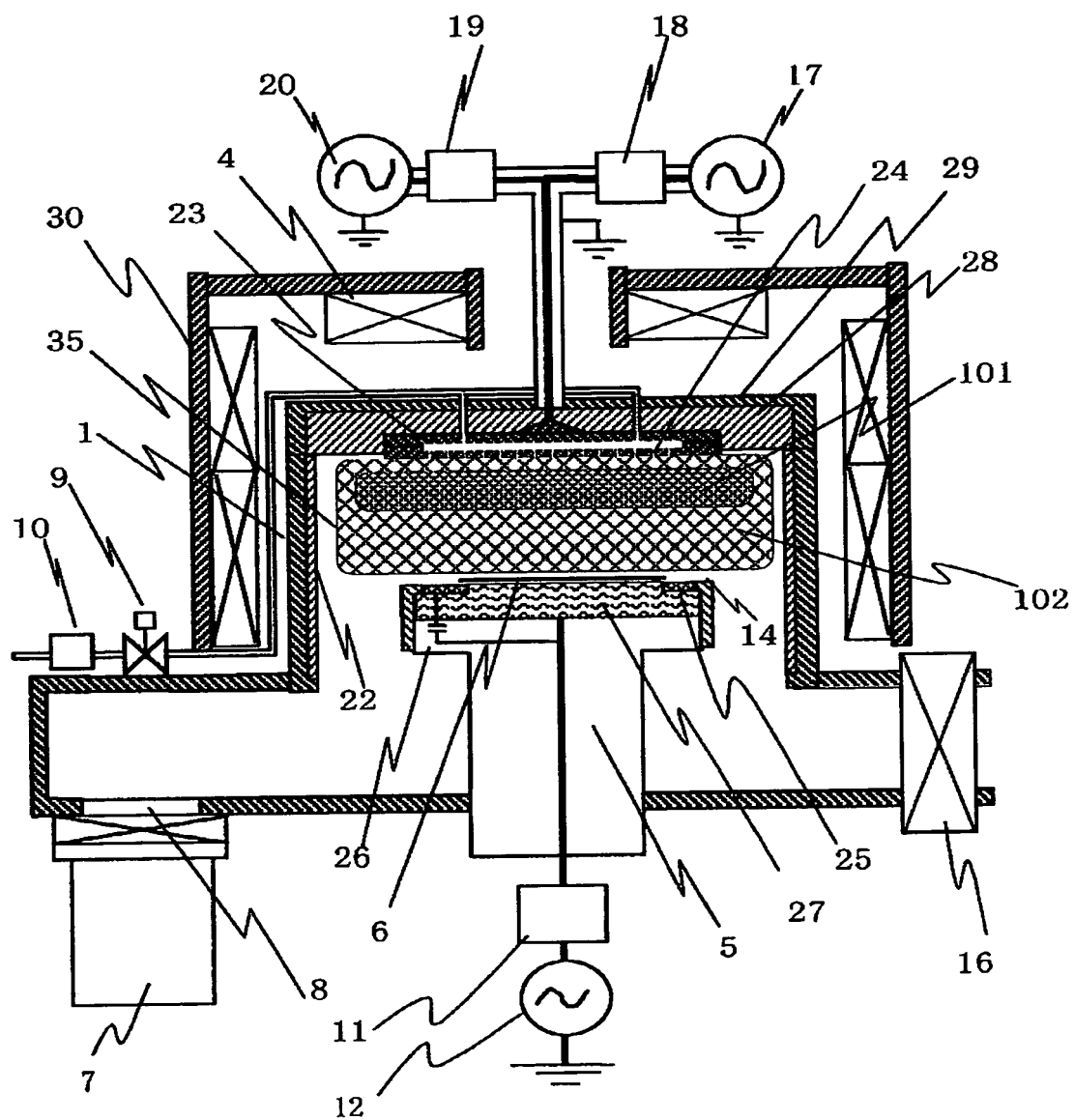
特平 1 1 - 2 2 4 0 8 0

1 3 2 ...  $\text{CF}_2$  / イオン入射比、 1 4 1 ... 窒化ケイ素膜肩部の選択比、 1 4 2 ...  
テーパ角

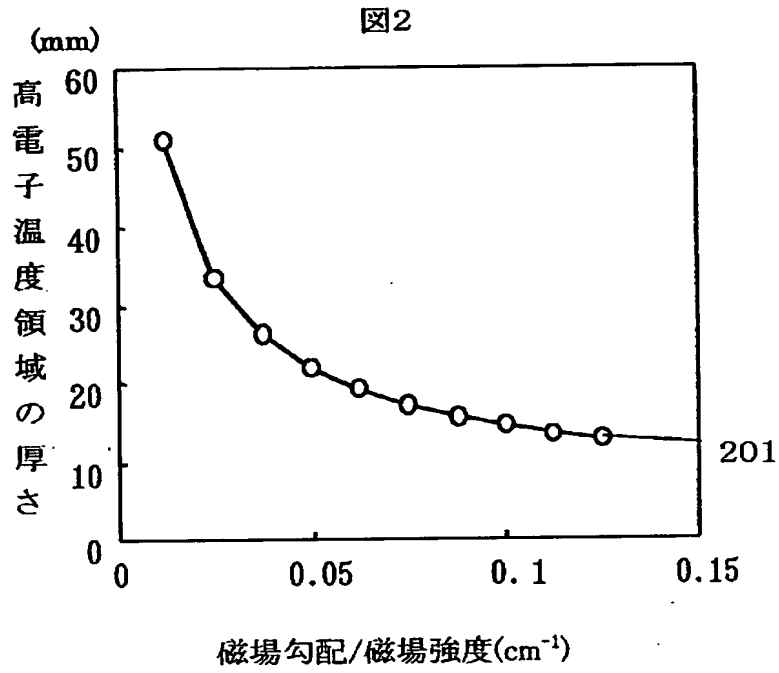
【書類名】 図面

【図 1】

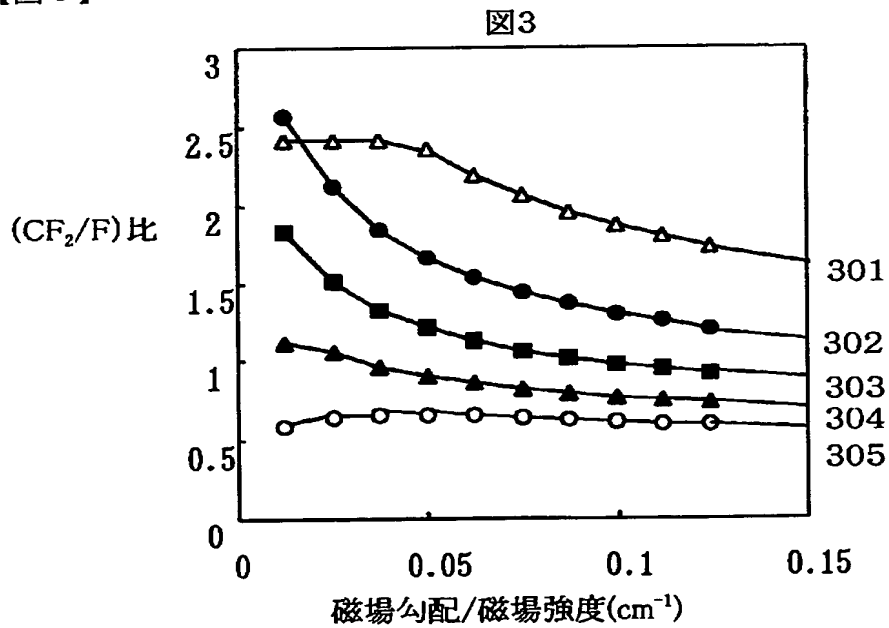
図1



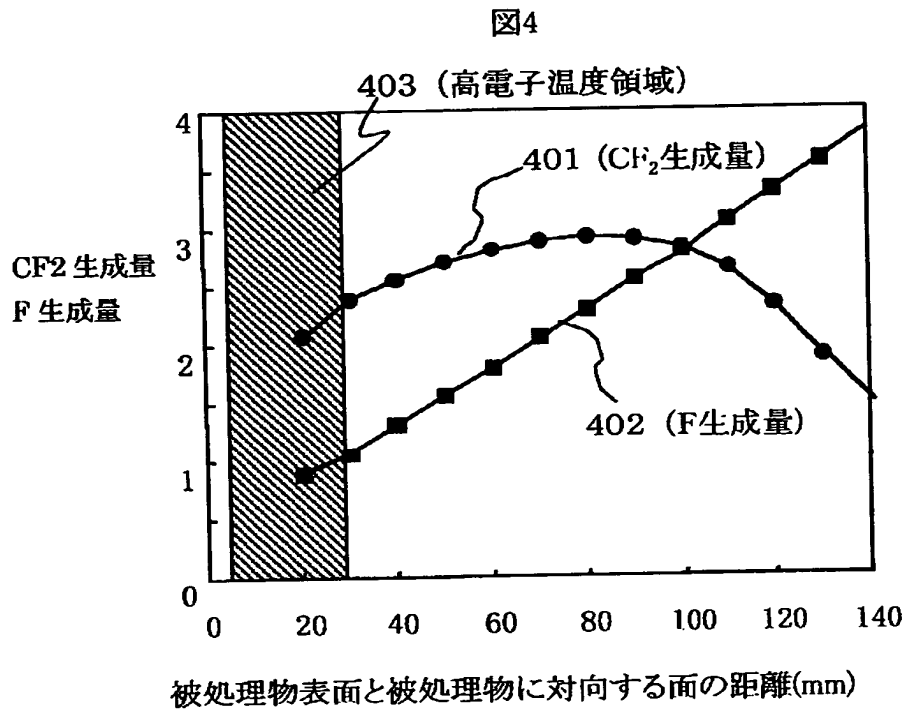
【図2】



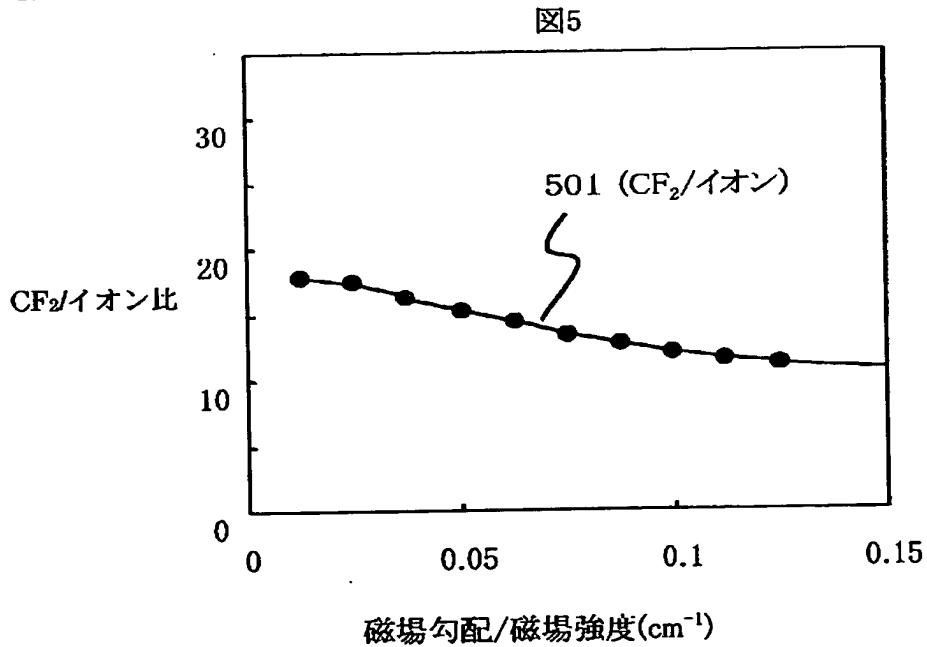
【図3】



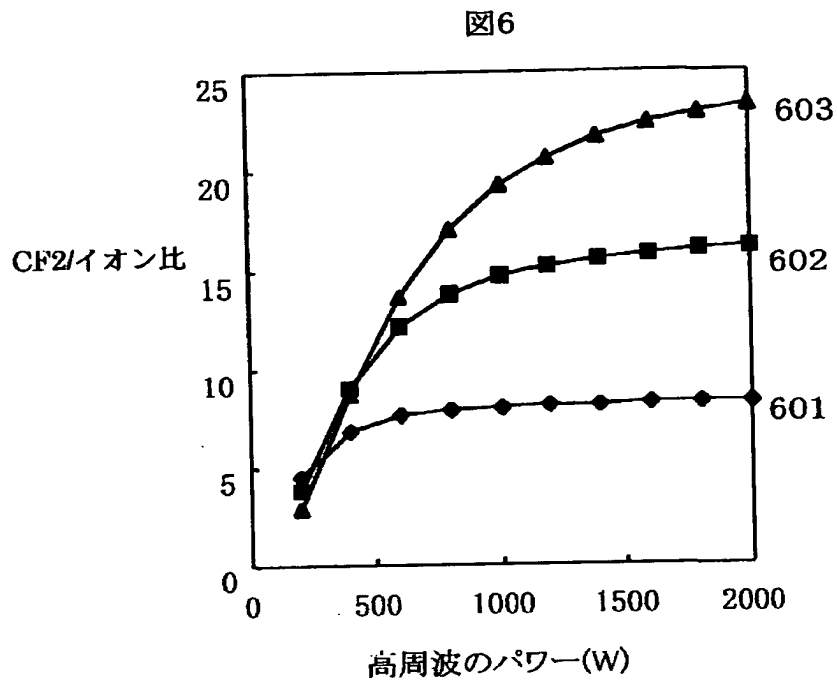
【図 4】



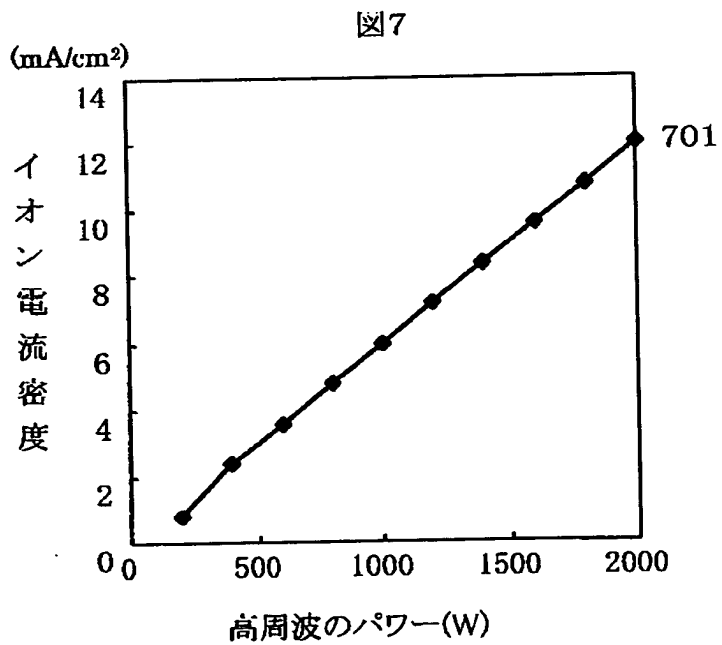
【図 5】



【図6】

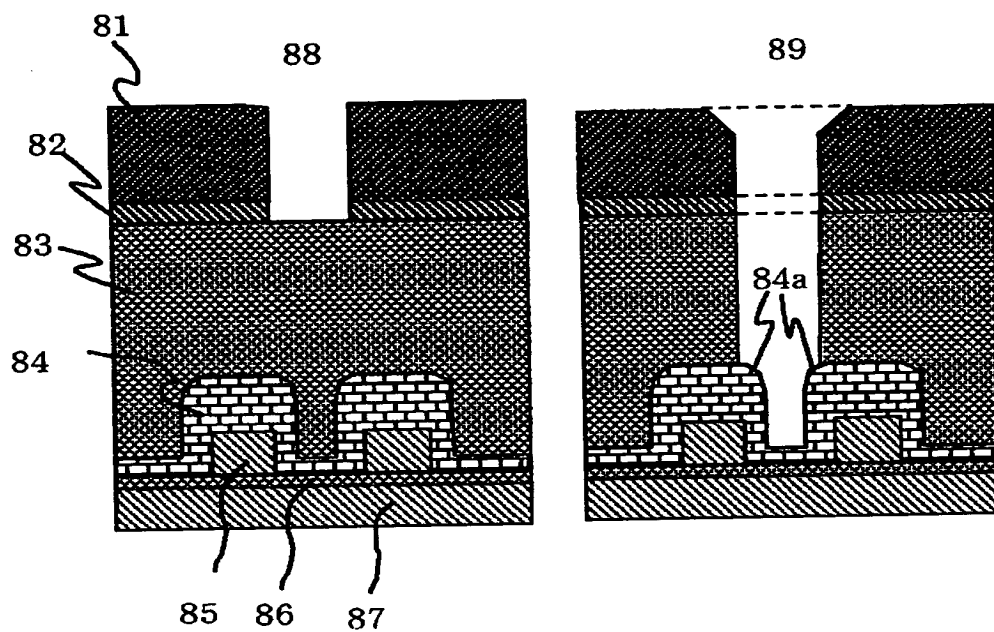


【図7】

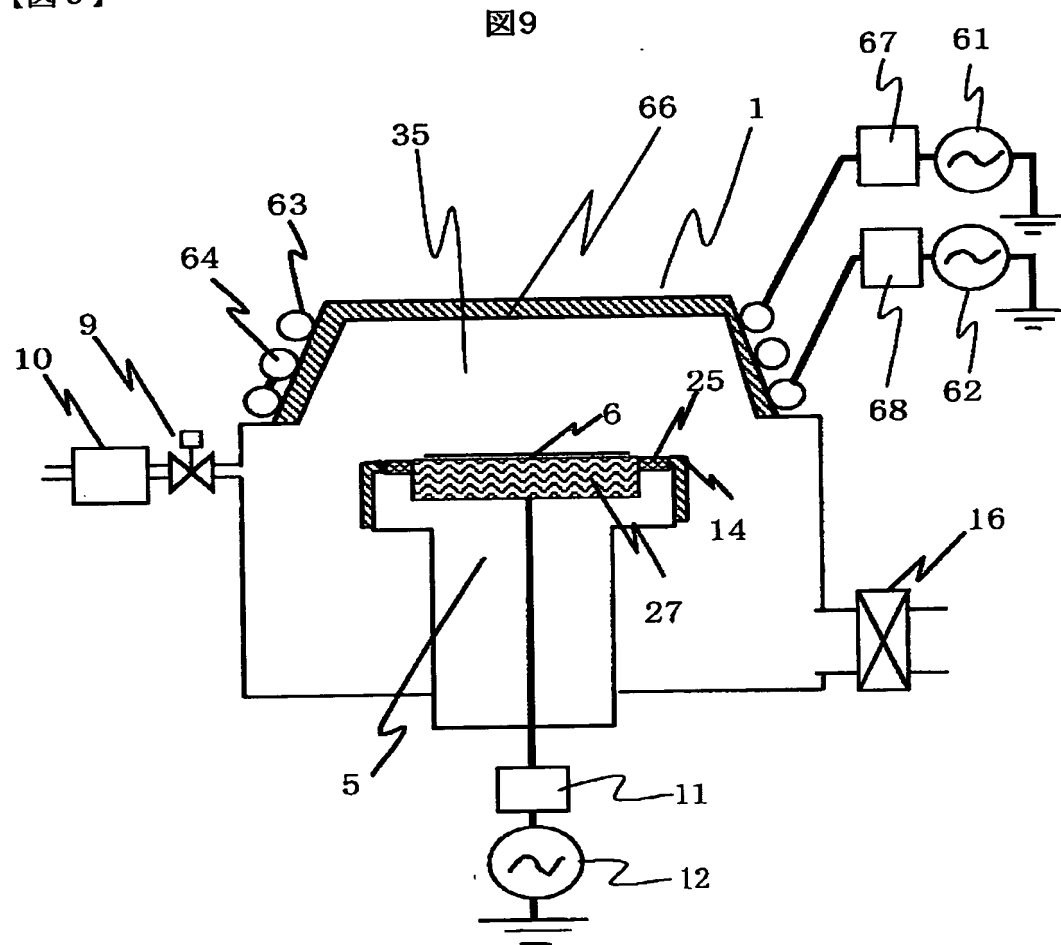


【図 8】

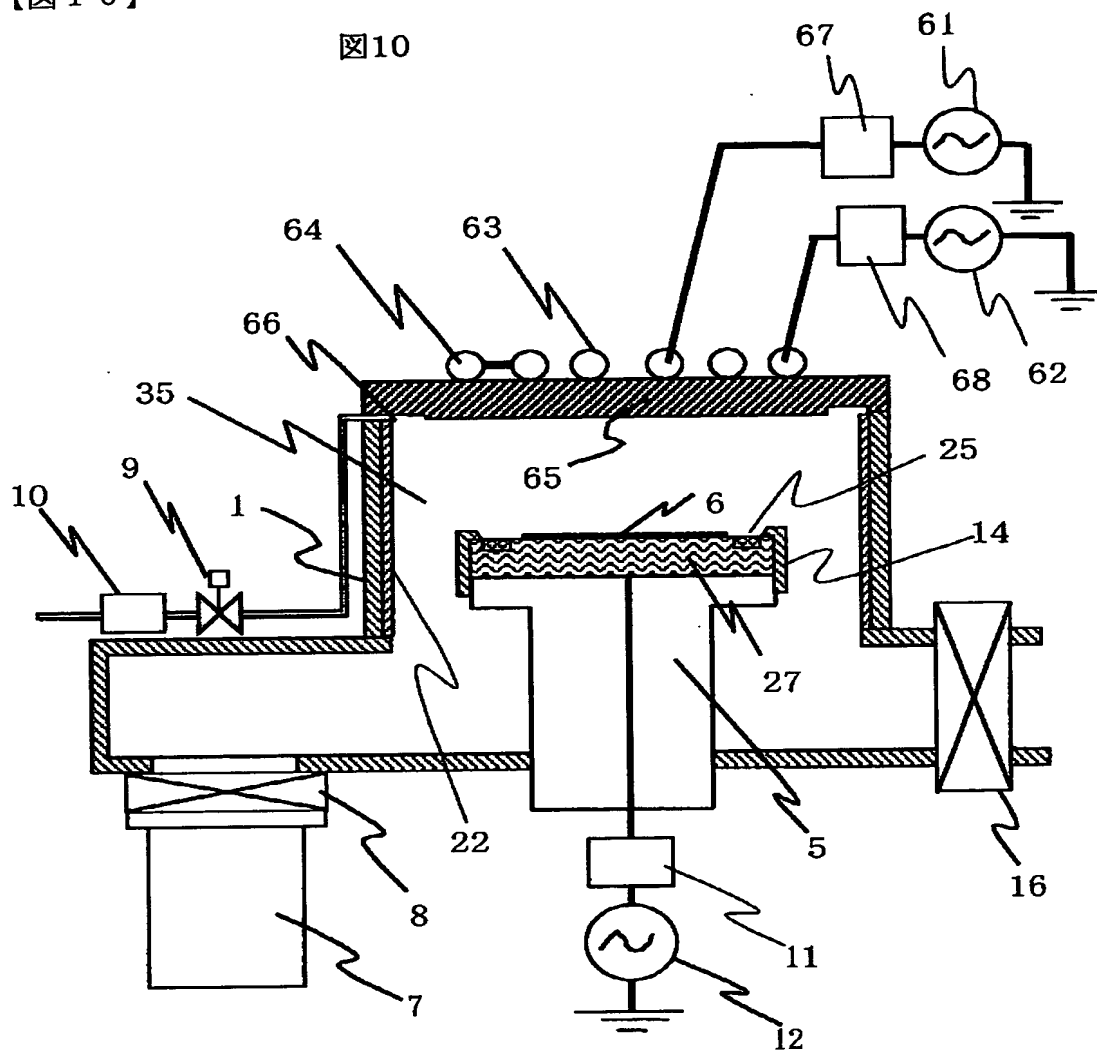
図8



【図 9】



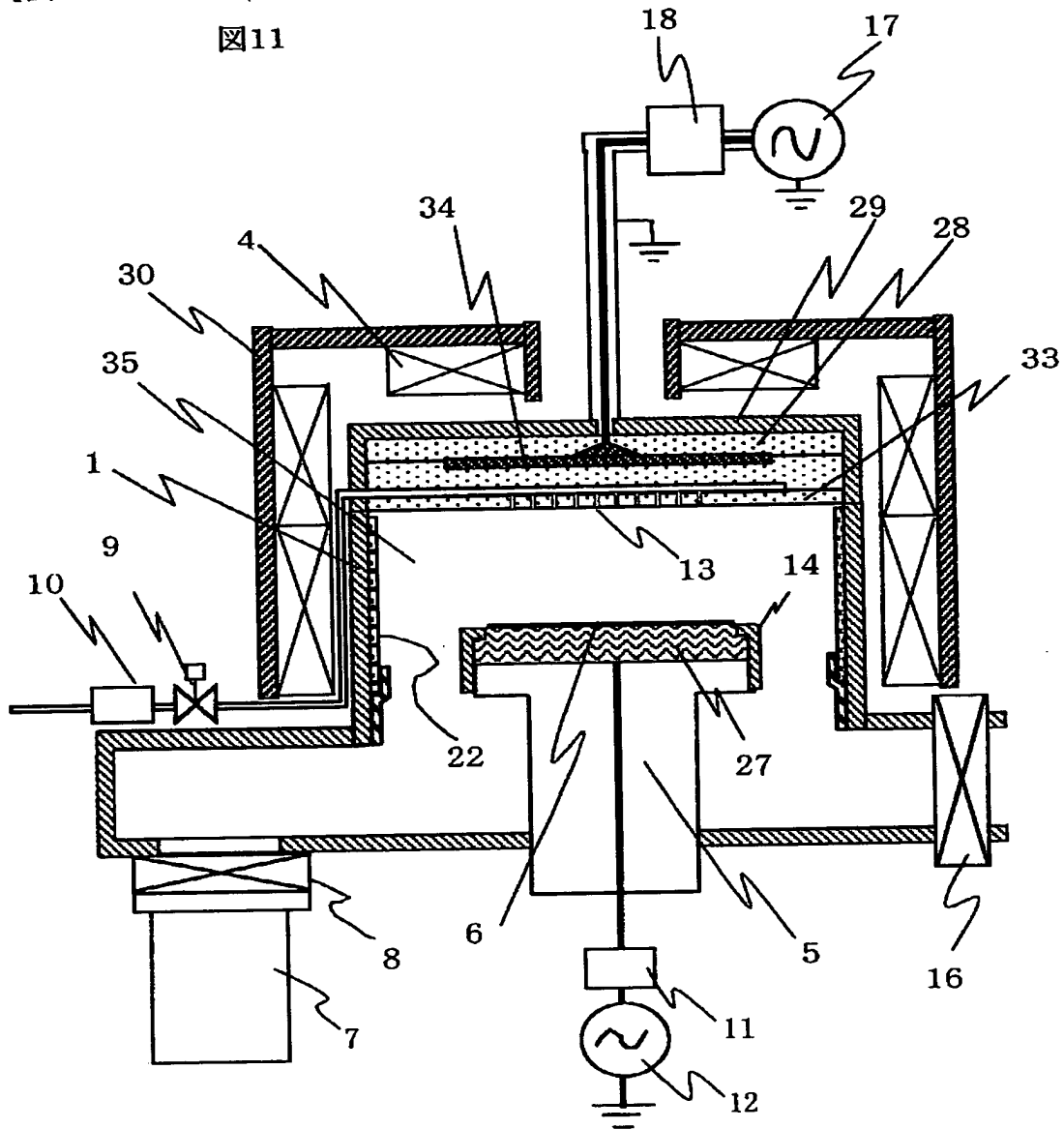
【図 10】





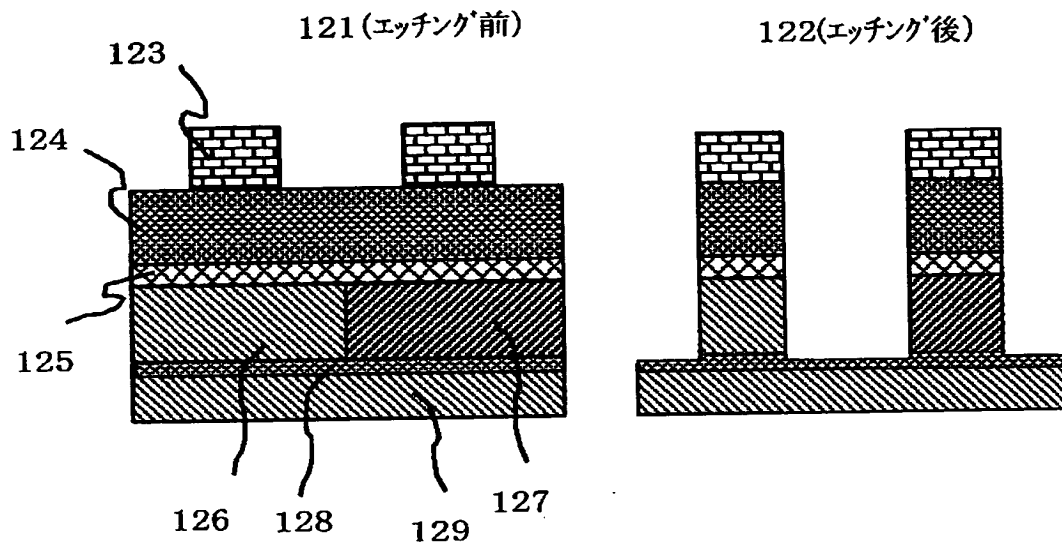
【図 11】

図 11



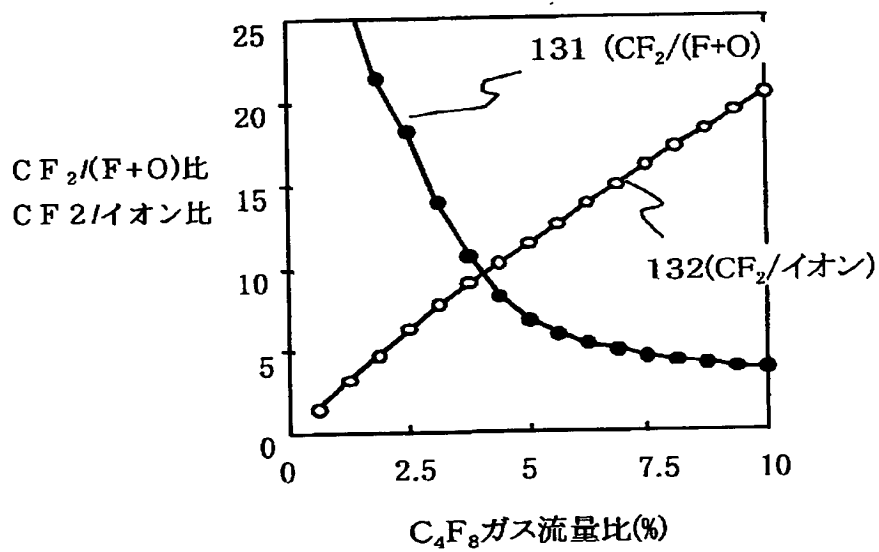
【図 12】

図 12



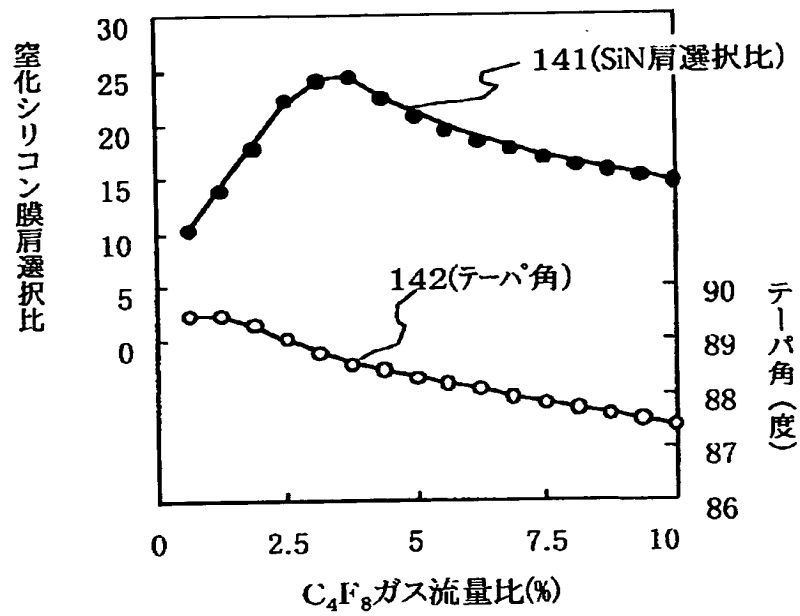
【図 13】

図 13



【図 1 4】

図 14



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】

半導体製造におけるフロロカーボンガスプラズマによる酸化ケイ素膜のエッチングにおいて、微細加工性に優れ、レジストや窒化ケイ素膜に対して選択性が高いエッチング方法を提供する。

【解決手段】

2種類の電子温度領域をプラズマ中に設け、この2つの電子温度領域の大きさを、磁場勾配およびウエハとウエハ対向面の距離を可変させることにより、 $CF_2/F$ 生成比をイオン生成量と独立に制御する。

ガス圧力、ガス流量に大きく依存することなく、レジストや窒素化膜に対する選択比が高い、酸化膜エッチングが可能になる。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000005108]

1. 変更年月日

1990年 8月31日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地

氏 名

株式会社日立製作所